

ISBN : 978 - 602 - 72198 - 1 - 6

PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA MAKASSAR 2015 (SNF-MKS)

“KONTRIBUSI FISIKA DALAM INTERAKSI
MASYARAKAT EKONOMI ASEAN”

Makassar, 10 Oktober 2015
Gedung Ipteks Universitas Hasanuddin



Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
<http://unhas.ac.id/fisika/snf-mks2015/>



PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA MAKASSAR 2015

ISBN: 978 – 602 – 72198 – 1 – 6

PROSIDING

Seminar Nasional Fisika Makassar 2015

(SNF-MKS 2015)

“Kontribusi Fisika dalam Interaksi Masyarakat Ekonomi ASEAN”

Gedung IPTEKS Universitas Hasanuddin

Makassar, 10 Oktober 2015

Editor

Prof. Dr. H. Halmar Halide, M.Sc.

Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc.

Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.

Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin

Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Sc.

Layout

Muh. Fachrul Latief

Nur Munjiah K.P.

Muh. Syahrul Padli

Sultan

Cover

Muhammad Fauzi Mustamin

© Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

KATA PENGANTAR

Puji syukur khadirat Allah SWT atas terselenggaranya Seminar Nasional Fisika Makassar 2015 (SNF-MKS 2015). Seminar Nasional ini dihadiri oleh para dosen dan peneliti dalam bidang fisika dan bidang terkait untuk kemajuan dan kemandirian bangsa. Peserta berasal dari berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian. Terdapat 47 makalah yang akan dipresentasikan (*oral presentation*), mulai dari fisika teori dan komputasi, instrumentasi, material, biomedik, pendidikan dan geofisika. *Full paper* kami sajikan dalam Buku Prosiding ini.

Berkenaan dengan penyelenggaraan SNF-MKS 2015, kami atas nama panitia menghaturkan terima kasih kepada: Rektor Universitas Hasanuddin, Dekan FMIPA-UNHAS dan Ketua Jurusan Fisika atas segala dukungan terhadap pelaksanaan seminar nasional ini. Terima kasih yang tak terhingga kami tujukan kepada pemakalah utama: Dr. L.T. Handoko dari Deputi Bidang Ilmu Pengetahuan Teknik LIPI, Dr. Dede Djuhana dari Universitas Indonesia, dan Prof. Dr. Dahlang Tahir dari Jurusan Fisika Universitas Hasanuddin. Apresiasi yang besar kami tujukan kepada para peserta seminar yang berasal dari berbagai perguruan tinggi negeri dan swasta serta lembaga departemen dan non-departemen di Indonesia. Kehadiran Bapak/Ibu dalam seminar ini memberikan kontribusi dalam meningkatkan kemajuan ilmu pengetahuan khususnya dibidang fisika.

Kepada seluruh peserta yang berpartisipasi dalam seminar nasional ini, jika sekiranya selama kegiatan ini berlangsung terdapat sesuatu yang tidak berkenan dihati Bapak/Ibu, mohon dimaafkan. Kami ucapkan Selamat mengikuti Seminar Nasional Fisika tahun 2015. Semoga apa yang menjadi harapan dan cita-cita kita bersama dapat terwujud.

Wassalam,

Ketua Panitia SNF-MKS 2015

Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc

SAMBUTAN KETUA JURUSAN FISIKA

Puji Syukur khadirat Allah SWT atas terselenggaranya Seminar Nasional Fisika tahun 2015 (SNF-MKS 2015) oleh Progm Studi Fisika (PSF), Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin. Seminar Nasional ini merupakan salah satu program kerja tahun 2015 PSF yang dimaksudkan sebagai kontribusi PSF bagi pemberdayaan ilmu Fisika di tanah air. Sesuai tema, **Kontribusi Fisika dalam Interaksi Masyarakat Ekonomi ASEAN**, maka melalui seminar ini diharapkan dapat terbangun komunikasi antara sesama peneliti bidang fisika dan bidang terkait sehingga dapat memperkuat jaringan peneliti di tanah air.

Keluarga besar PSF dan Jurusan Fisika menyambut gembira sambutan dan partisipasi dari berbagai pihak sehingga kegiatan ini dapat terselenggara. Ucapan terima kasih disampaikan kepada para peneliti yang telah bersedia berkontribusi sebagai pemakalah, baik dari kalangan internal PSF, maupun dari kalangan eksternal. Secara khusus PSF berterima kasih kepada para pemakalah tamu (*invited speaker*): Dr. L.T. Handoko dari Deputy Bidang Ilmu Pengetahuan Teknik (LIPI), Dr. Dede Djuhana dari Universitas Indonesia, dan Prof. Dr. Dahlang Tahir dari Jurusan Fisika Universitas Hasanuddin.

Atas nama Jurusan Fisika, saya menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Panitia Pelaksana atas usaha dan kerja kerasnya sehingga kegiatan seminar ini dapat terlaksana sesuai rencana. Bantuan dan dukungan dari *civitas* akademik Jurusan Fisika juga diucapkan terima kasih. Tak kalah penting, dukungan Pimpinan Fakultas MIPA dan Pimpinan Universitas yang saling melengkapi, menjadikan kegiatan ini berjalan lancar. Saya berharap tema kegiatan ini, seperti disebutkan di atas, cepat atau lambat benar-benar dapat diwujudkan oleh kalangan fisikawan di tanah air, sehingga suatu saat kelak bangsa kita dapat sejajar dengan bangsa-bangsa lain yang lebih dulu maju.

Wassalam,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Tasrief Surungan, M.Sc.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar Ketua Panitia	ii
Kata Sambutan Ketua Jurusan Fisika	iii
Daftar Isi	iv
H15-NA01 Pengaruh Frekuensi Getar Gerak Memutar Terhadap Sifat Transportasi Elektron DNA Poly(dA)-Poly(dT) <i>Kinanti Aldilla Rahmi, Efta Yudiarsa</i>	1
H15-NA02 Pembangkit Microwave Dari Sumber Optik Menggunakan Metode Mixing <i>Wildan Panji Tresna, Nursidik Yuliyanto, Nurfina Yudasari dan Iyon Titok Sugiarto</i>	7
H15-NA03 Sifat Transportasi Muatan Molekul DNA Aperiodik: Karakteristik I-V Bergantung Frekuensi Getar Gerak Memutar <i>Vandan Wiliyanti, Efta Yudiarsah</i>	11
H15-NA05 Estimasi Kinerja Sistem Produksi Ekonomi Dengan Fungsi Produksi Berbasis Entropi <i>D.A. Suriamihardja, Amiruddin</i>	18
H15-NA07 Penelusuran Metrik Medan Gravitasi Simetri Sumbu dan Berotasi Stasioner Melalui Persamaan Ernst <i>Bansawang BJ</i>	25
H15-NA08 Solusi Persamaan Adveksi Difusi Koordinat Kartesius Tanpa Sumber Menggunakan Metode Elemen Hingga Galerkin <i>Eko Juarlin</i>	31
H15-NA09 Dinamika Lubang Hitam Reissner-Nordström dalam Kosmologi Friedman-Robertson-Walker (FRW) <i>Muh. Fachrul Latief, Bansawang BJ, Wira Bahari Nurdin</i>	35
H15-NA10 Aplikasi Metoda Wang-Landau pada Studi Perubahan Fase Model Ising Dua Dimensi dengan Interaksi Ekstra <i>Aswin, Tasrief Surungan</i>	41
H15-NA12 Pemodelan Dispersi CO Dari Cerobong Pabrik Semen Tonasa Dengan Menggunakan Model Aermod <i>Alimuddin Hamzah Assegaf, Erwin Azizi Jayadipraja</i>	45
H15-NA13 Simulasi Stimulasi Listrik pada Jantung <i>Wira Bahari Nurdin</i>	49
H15-NA14 Konstruksi Matriks Global Bangun Segi Empat Dalam Metode Elemen Hingga <i>Eko Juarlin, Irene Devi Damayanti</i>	53
H15-NB01 Pemanfaatan Abu Sekam Padi Dan Kapur Banawa Untuk Pembuatan Batu Bata Tanpa Pembakaran <i>Darmawati Darwis, Syahrul Ulum dan Gali Kurniawan</i>	55
H15-NB02 Pengembangan LKPD Listrik Arus Searah Berbasis Keterampilan Proses Sains <i>Herman</i>	60
H15-NB04 Pembuatan dan Karakterisasi Nanopartikel <i>Titanium Oxide</i> (TiO ₂) Menggunakan Metode <i>SOL-GEL</i> <i>Idawati Supu, Akhiruddin Maddu</i>	67
H15-NB05 Pengaruh Perendaman Larutan Teh Hitam Terhadap Keramik Gigi Tiruan <i>Nurlaela Rauf, Sinarwati</i>	73

H15-NB06	Analisis Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Rugi Daya Sensor Pergeseran Konfigurasi Lurus Berbasis Serat Optik Plastik <i>Arifin</i>	76
H15-NB08	Impedansi Antena Mikostrip Model Dasi Kupu-Kupu Dengan Konektor Terpusat <i>Bualkar Abdullah</i>	82
H15-NB09	Sensor Serat Optik Plastik Berbasis Modulasi Intensitas Cahaya untuk Pengukuran Massa <i>Yusran, Arifin</i>	85
H15-NB11	Sensor Glukosa Berbasis Modulasi Intensitas Menggunakan Serat Optik Polimer <i>Rosdia, Arifin</i>	91
H15-NB14	Analisis Genangan Sungai Jene Berang Kabupaten Gowa <i>Anugrawati, Alimuddin Hamzah, Paharuddin</i>	96
H15-NC01	Inversi Seismik Berbasiskan Model untuk Identifikasi Reservoir Karbonat <i>Suprpto Bambang Harimei, Irnah Saluddin</i>	104
H15-NC02	Karakterisasi Reservoir Karbonat Menggunakan Analisis Seismik Atribut Dan Inversi Impedansi Akustik (AI) <i>Nur Najmiah Tullailah, Lantu, Sabrianto Aswad</i>	111
H15-NC03	Different Weightings of Fuzzy Decision Analysis in Land Suitability Evaluation <i>Samsu Arif, D. A. Suriamihardja, Sumbangan Baja, Hazairin Zubair</i>	116
H15-NC04	Identifikasi Lapisan Akuifer di Daerah Mawang Kecamatan Baruga Kabupaten Bantaeng Menggunakan Geolistrik Tahanan Jenis <i>Makhrani, Sabrianto Aswad</i>	125
H15-NC05	Prediksi Permeabilitas Menggunakan Metode Regresi untuk Manajemen Reservoir yang Efektif <i>Harjumi, Makharani, Sabrianto Aswad</i>	130
H15-NC06	Resistivitas Batuan Kampus UNHAS Tamalanrea <i>Muhammad Hamzah Syahrudin, Amiruddin, Sabrianto Aswad, Syamsuddin</i>	133
H15-NC07	Identifikasi Rembesan Air Limbah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Biringkassi PT. Semen Tonasa Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner Alpha <i>Aswar Syafnur, Muh. Altin Massinai, Syamsuddin</i>	138
H15-NC08	Analisis Data Inversi 2-Dimensi dan 3-Dimensi untuk Karakterisasi Nilai Resistivitas Bawah permukaan <i>Muh. Taufik Dwi Putra, Syamsuddin, Sabrianto Aswad</i>	142
H15-NC09	Analisis Arah Kekar Parangloe Sulawesi Selatan Dengan Menggunakan program Dips <i>Muh. Altin Massinai, Reski Ayu Magfira Alimuddin, Maria</i>	147
H15-NC10	Analisis Pola Spasial dan Kwartal Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai Delta Muara Sungai Saddang Periode 1983-2013 <i>N.R.Palilu, Haerany Sirajuddin, Sakka, dan D.A. Suriamihardja</i>	151
H15-NC11	Analisis Pola Spasio-Temporal Arus Susur Pantai Periode Tahun 1983-2013 di Perairan Pantai Delta Muara Sungai Saddang <i>Rosyida Fatihah, Sakka, D.A. Suriamihardja</i>	159
H15-NC12	Analisis Karakteristik Ombak Perairan Pantai Delta Muara Sungai	165

	Saddang Periode 1983-2013 <i>Alexander Kondo, Sakka, D.A. Suriamihardja</i>	
H15-NC13	Desain dan Konstruksi Sumber Getar Seismik Berbasis Fisika Kimia untuk Eksplorasi Data Seismik <i>Bualkar Abdullah, Lantu, Wahid Wahab, Heryanto</i>	172
H15-NC14	Penentuan Kedalaman Minimum Area Dumping di Laut Dengan Mempertimbangkan Mobilitas Sedimen <i>Alimuddin Hamzah Assegaf, Wasir Samad</i>	180
H15-ND01	Rancang Bangun Alat Ukur Curah Hujan, Temperatur, dan Kelembaban Udara dengan Media Penyimpan Dalam SD Card <i>Elisa Sesa, Dedy Farhamsah, Randy Lasman</i>	184
H15-ND02	Analisis Perubahan Bentuk Sudut Sudu Turbin Terhadap Efisiensi Daya Mekanik yang Dihasilkan <i>Syahir Mahmud, Suendy Ciayadi Kwang</i>	189
H15-ND03	Uji Nilai Kalor Briket dengan Komposisi Kayu Pohon Asam, Kotoran Sapi dan Serbuk Gergaji Sebagai Pengganti Bahan Bakar Alternatif <i>Muh. Said L., Sri Wahyuna, Hernawati</i>	194
H15-ND04	Penentuan Kualitas Batubara Berdasarkan Log Gamma Ray, Log Densitas Dan Analisis Parameter Kimia <i>Yulia Afriani, Makhrani dan Syamsuddin</i>	199
H15-ND05	Pemodelan Penyebaran Bising Pada PLTA Tangka Manipi <i>Hasliah Elastuti, Alimuddin Hamzah dan Paharuddin</i>	203
H15-ND07	Pemetaan Arah Rembesan Air Lindi di TPA Tamangapa Makassar <i>Andi Nurul Aeni Daud, Muhammad Altin Massinai dan Syamsuddin</i>	212
H15-ND08	Perancangan Sistem Penangkap Petir Pada Dangau Petani Di Daerah Persawahan <i>Bidayatul Armynah, Syahir Mahmud dan Idwin Indra Bawana Tang</i>	215
H15-ND09	Korelasi Periode Delapan Tahun Lontara' Pananrang dengan Periode Gerak Bulan dalam Pengarakterisasian Kondisi Cuaca di Sulawesi Selatan <i>Nur Hasanah,, D.A. Suriamihardja1 dan Bannu Abdulsamad</i>	224
H15-ND11	Penerapan Gaya Pada Perkiraan Waktu Kematian Dalam Tanatologi <i>Sri Suryani</i>	228
H15-ND12	Pengaruh Konsentrasi Zinc Acetat Dehidrat Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis <i>Bilayer ZnO/TiO₂</i> <i>Nur Aeni, Musfitasari, Eko Juarlin, P.L. Gareso</i>	232
H15-ND13	Pengaruh Pemanasan Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis <i>Bilayer ZnO/TiO₂</i> <i>Musfitasari, Nur Aeni, Eko Juarlin, P.L. Gareso</i>	235
H15-ND14	Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Jigsaw Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Pada Topik Pengukuran <i>Mursalin</i>	238
Index		242

Pengaruh Frekuensi Getar Gerak Memutar terhadap Sifat Transportasi Elektron DNA poly(dA)-poly(dT)

Kinanti Aldilla Rahmi* dan Efta Yudiarsah

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16424

*Email: kinanti.aldilla@ui.ac.id

ABSTRAK

Pengaruh frekuensi getar gerak memutar terhadap sifat transportasi elektron di molekul DNA telah dipelajari. Dalam studi ini, digunakan model untai ganda DNA Adenin-Timin dengan 32 pasangan basa. Di tiap ujung basanya terdapat backbone gula-fosfat. Lalu, rantai DNA dikoneksi dengan elektroda di setiap ujungnya. Molekul dimodelkan menggunakan Hamiltonian ikatan kuat (tight binding) dan dikolaborasi dengan teori Slater-Koster, di sini perubahan sudut antar pasangan basa akibat gerak memutar diperhitungkan. Efek dari frekuensi getar gerak memutar dipelajari dengan menghitung probabilitas transmisi elektron menggunakan metode transfer matriks. Lalu probabilitas transmisi digunakan untuk menghitung karakteristik I-V dengan formula Landauer-Buttiker. Hasilnya menunjukkan bahwa probabilitas transmisi elektron dan arus meningkat seiring meningkatnya frekuensi getar gerak memutar untai DNA. Saat temperatur ditingkatkan, probabilitas transmisi dan arusnya menurun dan tegangan ambang membesar di tiap variasi frekuensi getar gerak memutarnya.

Kata Kunci: DNA, frekuensi getar gerak memutar, karakteristik I-V, probabilitas transmisi, temperatur

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini menuntut ukuran alat elektronik makin kecil dan dapat meningkatkan efisiensi serta kecepatan melalui nanoteknologi dan elektronik molekular [1]. Bahan atau media berskala nanometer yang dapat dimanipulasi strukturnya dan memiliki sifat self assembly dengan akurasi yang baik dan efisiensinya tinggi salah satunya yaitu menggunakan molekul biologis seperti molekul DNA [2]. Berdasarkan hasil eksperimen, rantai DNA dapat mengkonduksi listrik [3]. Hasil ini dapat dilihat dari sifat transportasi elektron di rantai DNA. Kemampuan DNA mengkonduksi akan mempengaruhi pengembangan elektronik molekular. Potensi ini yang menjadi salah satu motivasi untuk mempelajari sifat elektrikal dari rantai DNA sebagai aplikasi elektronik molekular. Ditambah lagi, salah satu kelebihan dari molekul DNA adalah dapat disintesis, sehingga menarik untuk dicari rantai DNA terbaik yang menguntungkan aplikasi elektronik molekular.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa DNA dapat bersifat dari isolator sampai konduktor [3]. Perbedaan hasil ini dapat dipengaruhi beberapa faktor. Antara lain, urutan basa DNA [4-6], model DNA [8-11], efek medium atau lingkungan [3,12] seperti adanya air, konterion dan kontak DNA-elektroda, medan magnetik [3,7,13], serta pengaruh temperatur [14]. Temperatur dapat

menyebabkan fluktuasi di beberapa keadaan fisik DNA [15]. Seperti bergetarnya rantai DNA sehingga terjadi perubahan sudut putar antara pasangan basa terdekat dan jarak antara basa satu ke basa lain. Getaran yang mengakibatkan DNA berputar ini dapat dilihat sebagai eksitasi fonon di DNA [15].

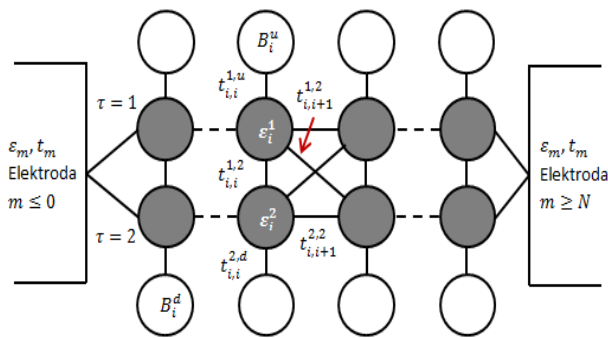
Pada paper ini, kami fokus pada efek variasi frekuensi getar yang mengakibatkan gerak memutar DNA. Dari efek ini, akan dilihat sifat dari transportasi elektronnya. Penelitian sebelumnya, dibahas tentang gerak memutar ini, dengan rantai DNA yang terdiri dari basa Guanin dan Cytosin [1]. Hasilnya bahwa meningkatnya temperatur, dapat meningkatkan gangguan sistem dan merintangi transportasi elektron sedangkan rendahnya frekuensi getar gerak memutar menghasilkan penurunan transmisi dan arus. Untuk tegangan ambang, cenderung bergeser ke tegangan rendah dengan kenaikan temperatur dan bergeser lebih kecil lagi di frekuensi rendah.

Di paper ini, kami menggunakan model ikatan kuat (tight binding) Hamiltonian dari rantai DNA yang terdiri dari pasangan basa Adenin dan Timin. Metode perhitungan probabilitas transmisi menggunakan transfer matriks dan menggunakan formula Landauer-Buttiker untuk melihat karakteristik I-Vnya yang dijelaskan pada bagian dua. Hasil perhitungan probabilitas transmisi dan karakter I-V dipaparkan pada

bagian tiga. Di bagian terakhir, hasil akan disimpulkan.

II. BAHAN DAN METODA

Model DNA yang digunakan pada penelitian ini adalah DNA untai ganda dengan pasangan basa Adenin-Timin dan di tiap basanya terdapat gula-pospat (backbone). DNA dihubungkan dengan elektroda di kedua ujungnya. Panjang rantai DNA yang digunakan berjumlah 32 pasang basa (elektroda – 32 pasang basa DNA – elektroda). Pada model ini, elektron dapat berpindah dari satu basa ke basa lain dalam satu untai, dari satu basa ke basa pasangannya dalam satu cabang, dari satu basa ke basa lain antarcabang yang terdekat dan dari basa ke backbone di satu cabang atau sebaliknya. Tapi elektron tidak bisa pindah dari backbone satu ke backbone lain. DNA ini dimodelkan menggunakan ikatan kuat (tight binding) Hamiltonian.



Gambar 1. Skema model DNA yang dipelajari. Lingkaran hitam merepresentasikan basa DNA, lingkaran putih merepresentasikan backbone DNA. Garis yang menghubungkan lingkaran merepresentasikan jalur yang dapat dilalui elektron.

Hamiltoniannya sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 H = & \sum_{i=1}^L \sum_{\tau, \sigma=1,2} \{ (\varepsilon_i^\tau + \phi_i^\tau) |i, \tau\rangle \langle i, \tau| \\
 & + t_{i,i+1}^{\tau, \sigma} |i, \tau\rangle \langle i+1, \sigma| \} \\
 & + \sum_{\tau=1,2} \sum_{i=1}^L \sum_{q=u,d} \{ B_i^q |i, q\rangle \langle i, q| + t_i^q |i, \tau\rangle \langle i, q| \} \\
 & + \sum_{i=1}^L t_i^{1,2} |i, 1\rangle \langle i, 2|
 \end{aligned} \quad (1)$$

Pada gambar 1 dan persamaan 1, L merupakan panjang sistem, yang diset 32 pasangan basa. Parameter ε_i^τ adalah energi dalam basa pada untai ke τ dan cabang ke i dan B_i^q adalah energi dalam

backbone pada cabang ke i dan arah q elektron berpindah. Sedangkan ϕ_i^τ merupakan efek dari gerak memutar DNA yang direpresentasikan oleh persamaan [15].

$$\begin{aligned}
 \phi_i^\tau = & b_{i-1,i}^\tau (\cos \Delta_{i-1,i}^\tau - \cos \varphi_{eq}) \\
 & + b_{i,i+1}^\tau (\cos \Delta_{i,i+1}^\tau - \cos \varphi_{eq}) \quad (2)
 \end{aligned}$$

dengan,

$$\Delta_{i-1,i}^\tau = \varphi_{eq} - (\varphi_{i-1}^\tau - \varphi_i^\tau)$$

$$\Delta_{i,i+1}^\tau = \varphi_{eq} - (\varphi_i^\tau - \varphi_{i+1}^\tau)$$

Efek ini yang mempengaruhi dan mengganggu energi dalam satu basa. Di mana gangguan ini direpresentasikan dengan konstanta kopling elektron-fonon $b_{i-1,i}^\tau$ dan $b_{i,i+1}^\tau$. Untuk menentukan konstanta kopling elektron-fonon $b_{i,i+1}^\tau$, kita asumsikan bahwa semakin kecil jarak antarbasanya terdekat, interaksinya semakin kuat sehingga nilai potensial dalam masing-masing basa menjadi lebih besar, begitu juga sebaliknya. Metode perhitungan konstanta kopling elektron-fonon yang digunakan dijelaskan pada referensi [15]. Sedangkan φ mewakili sudut antar pasangan basa terdekat. Untuk φ_{eq} dalam posisi equilibrium dipilih sebesar 36° [1-3,5,8]. Sementara $\varphi_{i\pm 1}^\tau$ adalah deviasi sudut putar dari equilibrium pada untai ke τ dan cabang ke i . $\varphi_{i\pm 1}^\tau$ didistribusikan berdasarkan distribusi Gaussian dengan rata-rata nol dan standar deviasi $\sqrt{T/f}$, di mana T adalah temperatur dan f adalah frekuensi getar gerak memutar yang akan divariasikan di antaranya 0.51meV, 0.77meV, 1.02meV, 2.00meV, 3.00meV, 4.00meV dan 5.12meV dan pengaruhnya akan dibahas pada bagian tiga. Terakhir, simbol $t_{i,i+1}^{\tau, \sigma}$, t_i^q dan $t_i^{1,2}$, merepresentasikan konstanta hopping elektron antar basa di satu untai, antarbasanya di untai dan cabang terdekat, antarbasanya-backbone pada satu cabang, dan antarbasanya di satu cabang.

Nilai energi dalam dari basa dan backbone yang digunakan adalah $\varepsilon_A = 8.22$ eV, $\varepsilon_T = 9.06$ eV dan $B_i^q = 9.6$ eV [15]. Untuk nilai konstanta hopping elektron antar basa menggunakan teori semi empiris Slater-Koster yang dijelaskan pada referensi [3,17] dan telah diekspansi sehingga diperoleh:

konstanta hopping elektron antarbasa satu untai

$$t_{i,i+1}^{\tau} = t_{i,i+1}^{pa} [1 - \alpha_{i,i+1}^{pa} \sin^2(\Delta_{i,i+1}^{\tau}/2)] \\ \times \exp[-\beta_{i,i+1}^{pa} (\cos \varphi_{sq} - \cos \Delta_{i,i+1}^{\tau})] \\ / [1 - \alpha_{i,i+1}^{pa} \sin^2(\varphi_{sq}/2)]$$

konstanta hopping elektron antarbasa antar untai-cabang

$$t_{i,i+1}^{\tau,\sigma} = t_{i,i+1}^{sl} [1 - \alpha_{i,i+1}^{sl} \sin^2(\Delta_{i,i+1}^{\tau}/2)] \\ \times \exp[-\beta_{i,i+1}^{sl} (\cos \varphi_{sq} - \cos \Delta_{i,i+1}^{\tau})] \\ / [1 - \alpha_{i,i+1}^{pa} \sin^2(\varphi_{sq}/2)]$$

konstanta hopping elektron antarbasa satu cabang (pasangan basa Watson-Crick)

$$t_{i,i}^{\tau,\sigma} = t_{i,i}^{pp} [1 + \alpha_{i,i+1}^{pp} \sin^2(\varphi_i^{\tau} - \varphi_i^{\sigma})/2] \\ \times \exp[\beta_{i,i}^{pp} (\varphi_i^{\tau} - \varphi_i^{\sigma})/2] \quad (3)$$

dengan,

$$\alpha^{pa} = 6,73 \text{ dan } \beta^{pa} = 6,26$$

$$\alpha^{pp} = 1,0 \text{ dan } \beta^{pp} = 11,5$$

$$\alpha^{sl} = 1,39 \text{ dan } \beta^{sl} = 2,85$$

Pada pembahasan ini, efek fonon juga dilihat pada backbone yang direpresentasikan dengan distribusi acak secara seragam dari energi dalam backbone antara $[B_i^q - w, B_i^q + w]$, di mana w merupakan lebar dari distribusi kekuatan gangguan [1,12,15,18]. Probabilitas transmisi dihitung menggunakan metode transfer matriks yang dijelaskan pada referensi [19]. Untuk ikatan kuat (tight binding) Hamiltonian antara elektroda dengan DNA terdiri dari energi dalam elektroda sebesar 8,45 eV (nilai ini sama besarnya dengan nilai energi Fermi yang digunakan) dan konstanta hopping elektron sebesar 0,75 eV. Dari koefisien transmisi yang sudah dihitung, dengan menggunakan formula Landauer-Buttiker karakteristik I-V akan didapat [4,20,21].

III. HASIL DAN DISKUSI

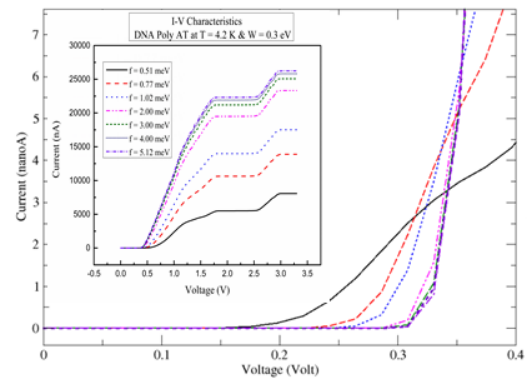
Hasil perhitungan kami anatar lain probabilitas transmisi dan karakteristik I-V pada DNA Poly (dA)-Poly (dT) dengan panjang rantai 32 pasangan basa. Ada dua keadaan yang akan

dibahas pada bagian ini yaitu ketika temperatur lingkungan 4,2K dan 30K dengan gangguan backbone yang sama yaitu 0,3eV. Kemudian hasilnya dibandingkan di tiap variasi frekuensi getar gerak memutar.

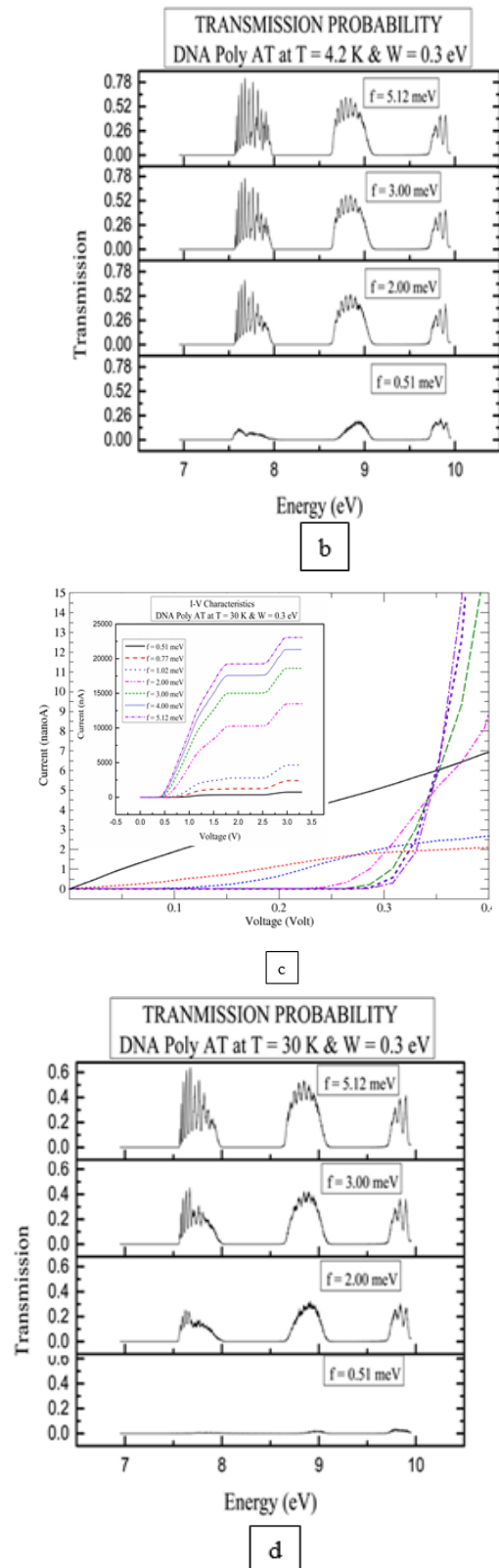
Tabel 1. Parameter konstanta loncatan elektron antarbasa ($t_{x,y}$) and kopling muatan dan gerak memutar pasangan basa ($b_{x,y}$) untuk Hamiltonian ikatan kuat. [1-3].

Basa (x,y)	$t_{x,y}^{pa}$ (eV)	$t_{x,y}^{sl}$ (eV)	$t_{x,y}^{pp}$ (eV)	$b_{x,y}$ (eV)
A,A	0.19	-	-	0.0258
T,T	0.23	-	-	0.0265
A,T	0.29	0.40	0.38	0.0291

Kami mulai dari hasil pada temperatur 4.2K, di mana hasilnya dapat dilihat pada gambar 2 (a) dan (b). Pada gambar 2(a), di inset terlihat bahwa makin besar frekuensi getar gerak memutarnya maka arusnya juga semakin besar. Dan tegangan ambangnya di sekitar 0.3V. Namun hasil sebaliknya tampak jika skala grafik diperbesar, yaitu kurva di tegangan yang sangat kecil (0-0,4V). Pada frekuensi getar yang kecil, arus lebih cepat naik di tegangan yang sangat kecil namun untuk tegangan selanjutnya arus jadi naik lebih lambat daripada frekuensi getar yang besar. Sebaliknya, pada frekuensi getar yang besar, arus sulit naik di tegangan awal dan di tegangan selanjutnya arus menjadi meningkat sangat cepat.



a



Gambar 2. Grafik karakteristik I-V dan probabilitas transmisi dari DNA Poly (dA)-Poly (dT) pada gangguan backbone $w = 0.3\text{eV}$, dan variasi frekuensi getar gerak melingkar pada legend:

(a) Grafik karakteristik I-V di temperatur 4.2K dan (c) di temperatur 30K, pada inset memperlihatkan karakteristk di tegangan besar, pada gambar yang besar memperlihatkan karakteristk di tegangan kecil.

(b)Grafik probabilitas transmisi di temperatur 4.2K dan (d) di temperatur 30K

Jika kita lihat gambar 2(b), pada frekuensi getar rendah probabilitas transmisinya kecil, hasil ini memperjelas mengapa pada frekuensi getar rendah arusnya sulit naik. Begitu juga sebaliknya untuk nilai frekuensi getar yang besar. Selain itu, grafik transmisi memperlihatkan ada gap disekitar energi Fermi (8,45eV). Lebar gap tidak begitu jauh berbeda untuk variasi frekuensi getar. Transmisi pada frekuensi getar yang rendah lebih dekat dengan energi Fermi, sedangkan transmisi pada frekuensi getar yang tinggi langsung meningkat tajam setelah melalui lebar gap. Kita hubungkan dengan grafik karakteristik I-Vnya, jelas bahwa pada frekuensi getar yang kecil, arus lebih cepat naik di tegangan sangat kecil disebabkan transmisinya yang lebih dekat dengan energi Fermi.

Secara umum, hasil di atas hampir sama dengan hasil di temperatur 30K, yang tergambar pada grafik di gambar 2(c) dan (d). Bedanya antara lain pada tegangan ambang yang terlihat di inset gambar 2(c), nilainya lebih besar dari tegangan ambang di temperatur 4.2K walaupun perbedaannya kecil. Frekuensi rendah juga menyebabkan arus naik lebih cepat di tegangan awal tapi di tegangan selanjutnya arus jadi sangat lambat naik.

Selain itu, di temperatur 30K arus maksimum yang dihasilkan lebih rendah, atau dapat dikatakan arus maksimum menurun ketika temperatur lingkungan naik. Direlasikan dengan probabilitas transmisi di gambar 2(d) memang terlihat bahwa jika temperaturnya naik transmisinya turun, itu yang mempengaruhi arus di temperatur 30K lebih rendah dari 4.2K. Menariknya, jika kita melihat satu per satu variasi frekuensi getar di temperatur 30K, maka terlihat bahwa tiga frekuensi terendah arusnya menurun sangat signifikan. Dibandingkan pada hasil penelitian sebelumnya [1] dengan menggunakan rantai DNA poly GC juga menyatakan hal yang sama, bahwa saat temperaturnya naik, arus maksimum turun bahkan hal yang sama juga ditunjukkan pada menurunnya arus yang sangat signifikan pada frekuensi getar rendah.

Pada suhu lebih tinggi yaitu 30K, probabilitas transmisi lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada suhu tinggi, efek gerak memutar DNA yaitu simpangan sudutnya makin besar, menyebabkan struktur DNA menjadi tidak teratur sehingga mengganggu elektron untuk loncat/hopping. Akibatnya probabilitas transmisi menurun. Sedangkan ketika frekuensi getar gerak memutar DNA meningkat, maka probabilitas transmisinya pun meningkat. Hal ini karena saat DNA bergetar dengan frekuensi yang lebih besar, maka gerakannya akan lebih sering dan simpangan sudut semakin kecil (menurut standar deviasi pada distribusi Gaussian), sehingga struktur DNA lebih teratur dan elektron lebih mudah untuk loncat. Dan kami menggunakan teori semi empiris Slater-Koster di mana jarak antarbasal mempengaruhi transmisi. Ketika antarbasal saling mendekat, transmisi meningkat sedangkan saat saling menjauh transmisi menurun. Jika antarbasal sering mendekat maka probabilitas transmisinya meningkat.

Probabilitas transmisi menentukan besar kecilnya arus yang mengalir pada rantai DNA. Membandingkan rantai DNA poly GC dan poly AT tentang arus maksimum, Edirisinghe [6] mendapatkan hasil bahwa arus maksimum pada DNA poly GC lebih tinggi dari poly AT. Hasil yang didapat J. Qi [21] pun demikian, ia menambah pasangan basa AT secara bertahap di rantai DNA poly GC dan hasilnya transmisinya perlahan makin menurun. Diperkuat dengan hasil Yudiarsah [12], dengan jelas terlihat bahwa arus maksimum pada DNA poly GC lebih tinggi dari poly AT.

IV. KESIMPULAN

Dengan menggunakan rantai DNA poly (dA)-Poly (dT) yang dimodelkan dengan ikatan kuat (tight binding) Hamiltonian serta dengan metode transfer matriks dan formula Landauer-Buttiker, probabilitas transmisi dan karakteristik I-V telah memberi hasil. Hasilnya antara lain bahwa pengaruh meningkatnya frekuensi getar gerak memutar DNA menyebabkan probabilitas transmisi elektron meningkat. Dikarenakan frekuensi getar yang tinggi menyebabkan simpangan sudut dari struktur DNA kecil, sehingga elektron lebih mudah loncat/hopping. Ketika frekuensi getar meningkat arusnya pun meningkat, walaupun di tegangan yang sangat

kecil, frekuensi getar yang rendah lebih dulu naik arusnya.

Kami bandingkan dengan lingkungan dengan temperatur yang lebih tinggi, hasilnya pada temperatur lebih tinggi, probabilitas transmisinya menurun, arus maksimumnya pun menurun dan pada masing-masing variasi frekuensi getar arusnya juga menurun bahkan menurun signifikan pada frekuensi rendah. Dikarenakan temperatur yang tinggi menyebabkan simpangan sudut dari struktur DNA membesar, sehingga elektron sulit loncat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Daniel K. Suhendro atas perhitungan parameter-parameter penting yang digunakan pada penelitian ini. Terima kasih kepada UPP-IPD Universitas Indonesia atas izin menggunakan fasilitas laboratorium komputer. Trima kasih juga kepada DIKTI dan kepada tim peneliti program Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) Tahun Anggaran 2015 Nomor: 0529/UN2.R12/HKP.05.00/2015. Spesial terima kasih kepada Utami yang telah meminjamkan laptop selama penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Yudiarsah, E., Suhendro, D. K., Saleh, R., 2014, Twisting motion dependent charge transport properties of Poly(dG)-Poly(dC) DNA molecular wire, *AIP Conference Proceeding* 1617, page: 35-38.
- [2] Albuquerque, E. L., Fulco, U.L., Freire V. N., Caetano, E. W. S., Lyra, M. L., de Moura, F. A. B. F., 2014, DNA-based nanobiostructured device: The role of quasiperiodicity and correlation effects, *Physics Reports* 535, page: 139-209.
- [3] Endress, R. G., Cox, D. L., Singh, R. R. P., 2004, Colloquium: The quest for high conductance DNA, *Reviews of Modern Physics* 76, page: 195-212.
- [4] Wei, J. H., Chan, K. S., 2007, Charge transport in polyguanine-polycytosine, *IOP Journal Physics Condensed Matter* 19, 286101.
- [5] Wang, X. F., Chakraborty, T., Berashevich, J., 2010, Quantum transport anomalies in DNA containing mispairs, *IOP Publishing Nanotechnology* 21, 485101.
- [6] Edirisinghe, N., Apalkov, V., Berashevich, J., Chakraborty, T., 2010, Electrical current

- through DNA containing mismatched base pairs, *IOP Publishing Nanotechnology* 21, 245101.
- [7] Kang, D., Jiang, H., Sun, Z., Qu, Z., Xie, S., 2011, Magnetic field tuned charge transport in a G4-DNA molecular device, *IOP Physics: Condensed Matter* 23, 055302.
- [8] Yamada, H., 2004, Electronic localization properties of a double strand of DNA: A simple model with long-range correlated hopping disorder, *International Journal Modern Physics B* 18, 1697.
- [9] Guo, A. M., Yang, Z., Zhu, H. J., Xiong, S. J., 2010, Influence of backbone on the charge transport properties of G4-DNA molecules: a model-based calculation, *IOP Physics: Condensed Matter* 22, 065102.
- [10] Klotsa, D., Romer, Rudolf. A., Turner, Matthew S., 2005, Electronic transport in DNA, *Biophysical Journal* 89, page: 2187-2198.
- [11] Klotsa, K. D., 2004, Electronic Transport in DNA, M.Sc Thesis, University of Warwick, USA.
- [12] Klotsa, K. D., 2004, Electronic Transport in DNA, M.Sc Thesis, University of Warwick, USA.
- [13] Maiti, S. K., 2009, Electron transport in a double quantum ring: Evidence of an AND gate, *Physics Letter A* 373, 48, page: 4470-4474.
- [14] Roche, S., 2003, Sequence Dependent DNA-Mediated Conduction, *Physical Review Letter* 91, 108101.
- [15] Suhendro, Daniel K., Yudiarsah, E., Saleh, R., 2010, Effect of phonon and backbone disorder on electronic transport in DNA, *Physica B: Condensed Matter* 405, page: 4806-4811.
- [16] Bowler, D.R., 2004, Atomic scale nanowires : Physical and electronic structure, IOP, Jurnal Physics: Condensed Matter 16, page: 721 – 754.
- [17] Malakooti, S., Hedin, E., Joe, Y., 2013, Tight binding approach to strain dependent DNA electronics, *Applied Physics* 114, 014701.
- [18] Zhong, J. X., 2003, Effects of backbone disorder on electronic transport in DNA molecules, *Nanotechnology Conference Procciding* Vol. 2, page: 102-108.
- [19] Taniyama, H. and Yoshii, A., 1996. Scattering matrix method for the tight binding model of heterostructure electronic state, *Physical Review B* 53, page: 9993-9999.
- [20] Macia, E., Triozon, F., Roche, S., 2005, Contact dependent effects and tunneling currents in DNA molecules, *Physical Review B* 71, 113106.
- [21] Qi, J., Edirisinghe, N., Rabbani, M. G., Anantram, M. P., 2013, Unified model for conductance through DNA with the Landauer-Buttiker formalism, *Physical Review B* 87, 085404.

Pembangkitan *Microwave* dari Sumber Optikal Menggunakan Metode *Mixing*

Wildan Panji Tresna*, Nursidik Yuliyanto, Nurfina Yudasari dan Iyon Titok Sugiarto

Gedung 442, P2F LIPI Kawasan Puspiptek Serpong 15314

*Email: wildanpanji@gmail.com

ABSTRAK

Dunia komunikasi modern telah banyak memanfaatkan gelombang mikro sebagai penghantar, hal tersebut lebih dikarenakan sifatnya yang lebih fleksibel karena tidak memerlukan media penghantar yang *rigid*. Gelombang mikro biasanya dibangkitkan dari sebuah magnetron (oven microwave) ataupun menggunakan piranti semikonduktor lainnya (alat kesehatan, reaktor nuklir ataupun radar). Pembangkitan berbasis piranti semikonduktor biasanya memiliki berbagai kendala seperti frekuensi maksimal yang dapat dibangkitkan tidak terlalu besar (orde GHz), penyempurnaan menggunakan metode *doubling frequency* biasanya akan meningkatkan *noise* yang tidak diinginkan dalam dunia komunikasi. Sumber optikal dipilih menjadi alternatif untuk membangkitkan gelombang mikro oleh karena stabilitas yang tinggi serta kemurnian sinyal yang bagus. Pada pengukuran ini, menggunakan metode *mixing* yaitu perpaduan dua sumber optikal agar menghasilkan *beat signal* (pelayangan). Hasil pengukuran dengan metode *mixing* ini telah berhasil membangkitkan gelombang mikro 5 GHz hingga 22 GHz. Kelebihan metode *mixing* dengan sumber optikal lainnya adalah *tunable* yang artinya dengan satu piranti dapat menghasilkan banyak keluaran yang diinginkan.

Kata Kunci : Gelombang mikro, Sumber Optikal dan Beat Signal

I. PENDAHULUAN

Teknologi *microwave* telah banyak di aplikasikan dalam berbagai bidang khususnya komunikasi *mobile*, fleksibilitas dan efisiensi biaya menjadi faktor utama pemilihan teknologi tersebut, oleh karena itu *expand* teknologi terus dilakukan khususnya dalam menyongsong peningkatan kapasitas dan efisiensi spektrum tahun 2020. karena pada tahun tersebut diperkirakan jumlah pengguna *mobile communication* akan mencapai 9 miliar pengguna dan sekitar empat perlimanya akan dipenuhi dari sistem *mobile broadband*.

Perkembangan teknologi *oscillator* berfrekuensi diatas 10GHz telah mengarah kepada sumber frekuensi *low noise*, salah satu teknologi yang mendukung hal tersebut adalah teknologi *mixing* dioda laser (*optical base*). *Microwave* atau *miliwave signal* dapat dihasilkan dalam domain optik berdasarkan teknik heterodyne, sinyal yang diperoleh berasal dari pencampuran dua sinyal gelombang elektromagnetik pada phase yang identik. Sinyal yang dihasilkan merupakan *beat frequency* hasil pelayangan dari kedua sumber optikal tersebut.

Dalam tulisan ini akan diuraikan mengenai metode *mixing* pada sumber optikal sebagai

pembangkit gelombang mikro. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap sumber optik adalah temperatur (*localized heat*). Output laser diode biasanya memiliki *linewidth* yang lebar (*broadband*), untuk memilih satu panjang gelombang outputnya diperlukan filter panjang gelombang. Umumnya filter panjang gelombang metode grating (*littman* dan *littrow*) yang berada diluar rongga resonator yang disebut *external cavity laser diode*.

II. METODA

Dioda laser merupakan sebuah osilator optik berfrekuensi tinggi yang persamaan gelombangnya dapat didekati dengan persamaan *sinus-cosinus*. pendekatan persamaan medan listrik dioda laser dapat dinyatakan dalam $E_1 = A_1 \cos [\omega_1 t + \theta_1(t)]$ dan $E_2 = A_2 \cos [\omega_2 t + \theta_2(t)]$ sehingga persamaan gelombang hasil superposisi dari dua sumber gelombang tersebut menjadi :

$$y = A_1 \cos [\omega_1 t + \theta_1(t)] + A_2 \cos [\omega_2 t + \theta_2(t)] \quad (1)$$

Karena $\cos(a+b) + \cos(a-b) = 2 \cos a * \cos b$, maka persamaanya menjadi :

$$y = A_1 A_2 \cos [(\omega_1 + \omega_2)t + (\theta_1 + \theta_2)t] \cos [(\omega_1 - \omega_2)t + (\theta_1 - \theta_2)t] \quad (2)$$

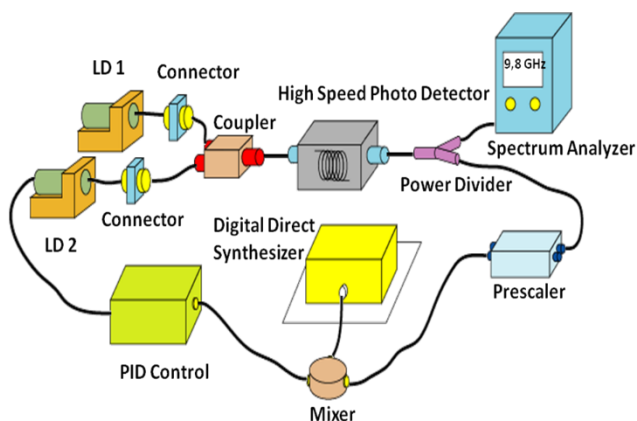
Nilai optimal dicapai saat nilai amplitudo laser I (A_1) sama dengan amplitudo laser II (A_2) sehingga Persamaan 2 menjadi :

$$y = 2A \cos \frac{1}{2}[(\omega_1 + \omega_2)t + (\theta_1 + \theta_2)t] \cos \frac{1}{2}[(\omega_1 - \omega_2)t + (\theta_1 - \theta_2)t] \quad (3)$$

$\theta(t)$ merupakan suatu konstanta maka elemen tersebut dapat dieliminir dari Persamaan 1 dan 2. Tetapi pada kenyataannya $\theta(t)$ dari kedua laser tersebut umumnya disebabkan oleh *short noise* yang merupakan proses kuantum di dalam laser diode tersebut, sehingga hal tersebut tidak dapat di-*ignore* dari persamaan superposisi karena *short noise* tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan fasa dan frekuensi laser diode. $\theta(t)$ merupakan fungsi temperatur, fungsi waktu dan fungsi arus sehingga terdapat banyak keterkaitan antara temperatur, fasa, arus dan kestabilan laser.

Hasil dari superposisi merupakan produk dari dua gelombang berjalan terlihat pada Persamaan 3, satu bagian adalah gelombang sinus yang berosilasi dengan frekuensi rata-rata $\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$, hal ini merupakan frekuensi yang dideteksi oleh *photodetector*. Bagian lainnya merupakan gelombang cosinus yang berosilasi dengan perbedaan frekuensi $\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)$.

Pembangkitan *microwave* dengan metoda *mixing* dioda laser biasa disebut dengan teknik *heterodyne* karena menggunakan dua sumber yang identik. Untuk memperoleh kondisi optimal *set up* pengukuran dikondisikan pada arah polarisasi yang sama antara masing-masing laser dengan menggunakan *Polarization Maintenance Fiber* (PMF).

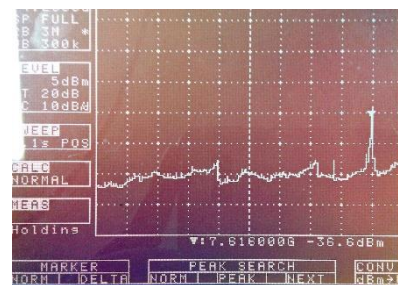


Gambar 1. Ideal Set Up eksperimen

Teknik *heterodyne* untuk pembangkitan gelombang mikro dilakukan dengan mengkondisikan salah satu laser sebagai referensi yang memberi nilai frekuensi *fix* pada outputnya dan laser lainnya dapat di-*tune* panjang gelombangnya (frekuensi) melalui perubahan temperatur operasi laser. Beda frekuensi dari dua sumber yang identik tersebut harus lebih kecil dari maksimum frekuensi respon *high speed photodetector* agar dapat dikontrol dan dianalisa.

III. HASIL DAN DISKUSI

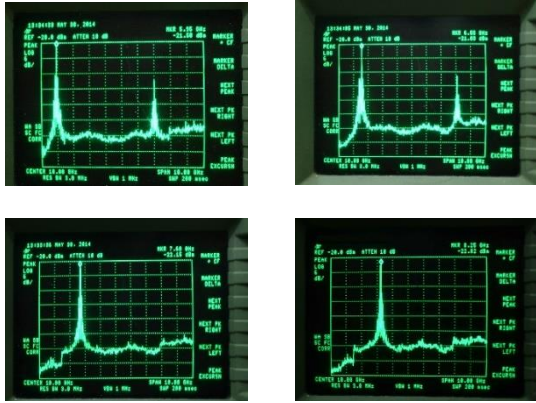
Hasil pengukuran pembangkitan *microwave* dengan metode *mixing* menunjukkan hasil yang signifikan sesuai teori dan perhitungan empiris. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua laser dioda jenis *Distributed Feedback* (DFB) dan jenis *External Cavity Laser Diode*. Mekanisme *tuning* panjang gelombang pada laser jenis DFB dilakukan dengan mengubah temperatur kerjanya. *Beat signal* yang diperoleh menggunakan dua laser DFB cenderung kurang *smooth*.



Gambar 2. Beat Signal hasil pelayangan dua DFB laser

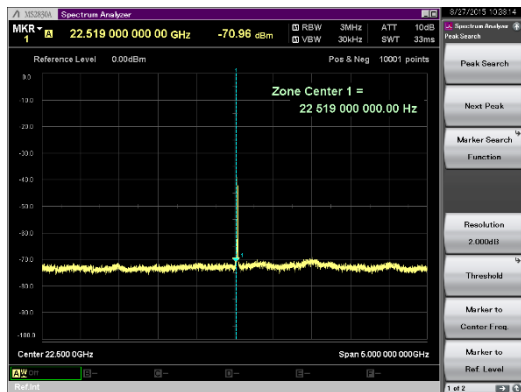
Gambar 2 menunjukkan *beat signal* hasil pelayangan dua DFB laser pada panjang gelombang 1552,012 nm dan 1552,089 nm. mekanisme tuning pada DFB laser kurang *smooth*, hasil referensi pengukuran menunjukkan resolusi 0,7 nm / °C yang artinya tuning satu derajat temperatur kerja dapat menghasilkan 9GHz.

Pengujian lain menggunakan *external cavity laser diode* (ECLD) memiliki nilai *tuning* yang lebih *smooth*.

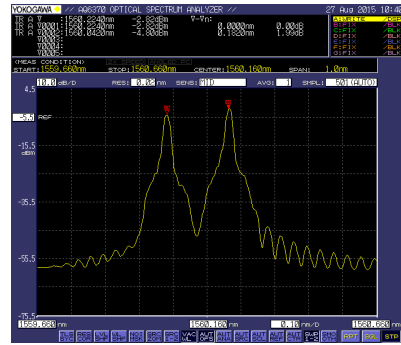


Gambar 3. *Beat Signal* hasil pelayangan *Tunable Semiconductor Laser* (TSL) dan DFB laser

Gambar 3 menunjukkan *tunable microwave* yang dihasilkan dari sumber laser dioda jenis *external cavity* memiliki varian hasil yang lebih banyak, serta *tuning* dengan resolusi lebih rapat. Hal ini dikarenakan *tuning* pada *external cavity laser diode* berbasis sistem grating, yaitu *broadband signal* yang melewati grating akan terfilter dan menghasilkan satu output panjang gelombang, adapun resolusinya tergantung dari jarak antar kisi pada grating tersebut. Untuk merubah panjang gelombang output dilakukan dengan cara merubah posisi grating. Perkembangan teknologi saat ini telah mampu membuat filter grating dengan resolusi 5000 kisi/cm.



Gambar 4 menunjukkan hasil *beat signal* maksimal sementara yang dapat dicapai dari penelitian yang dilakukan di Pusat Penelitian Fisika (PPF) LIPI. Yang membedakan beberapa sistem *tuning* dari laser dioda diantaranya adalah resolusi. DFB laser sangat terpengaruh oleh temperatur kerja, sedangkan *tuning* sistem grating memerlukan perangkat yang lebih rumit.



Gambar 5. Tampilan sinyal optik pada OSA dari dua sumber laser.

Gambar 5 menunjukkan dua sinyal optik pada tampilan *Optical Spectrum Analyzer* (OSA). Proses pelayangan terjadi ketika dua sinyal optik yang sefase saling mendekat pada kondisi yang stabil dan semakin kecil jarak diantara keduanya, atau semakin kecil perbedaan panjang gelombang dari dua sumber laser tersebut maka *beat signal* yang dihasilkan akan semakin besar.

Selisih panjang gelombang antara dua laser tersebut yang akan menghasilkan *beat signal* akan bernilai berbeda pada laser dengan daerah panjang gelombang yang berbeda pula, karena :

$$\mu_1 = \frac{c}{\lambda_1}, \quad \mu_2 = \frac{c}{\lambda_2}, \quad \mu_3 = \frac{c}{\lambda_3} \quad \text{dan} \quad \mu_4 = \frac{c}{\lambda_4}$$

dengan $(\lambda_3, \lambda_4) > (\lambda_1, \lambda_2)$

maka

$$|\lambda_1 - \lambda_2| = c \left[\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1 \mu_2} \right]$$

$$\text{dan} \quad |\lambda_3 - \lambda_4| = c \left[\frac{\mu_4 - \mu_3}{\mu_3 \mu_4} \right]$$

walaupun $|\lambda_3 - \lambda_4| = |\lambda_1 - \lambda_2|$

tetapi

$$\left[\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1 \mu_2} \right] \neq \left[\frac{\mu_4 - \mu_3}{\mu_3 \mu_4} \right]$$

karena $\mu_3 \mu_4 > \mu_1 \mu_2$

IV. KESIMPULAN

Sumber optik merupakan *source* yang potensial untuk membangkitkan *tunable microwave* untuk berbagai aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Widiyatmoko, T. B. Waluyo, M.T. Siregar, *Pembangkit Gelombang RADAR Berdasarkan Teknik Heterodyne Optis*, Prosiding Seminar Radar Nasional, 2008, ISSN 1979-2921.
- [2] M. Musha, A. Ueda, M. Horikosi, K. Nakagawa, M. Ishiguro, K. Ueda, H. Ito, *A highly stable mm-wave synthesizer realized by mixing two lasers locked to an optical frequency comb generator*, Optics communications 240 (2004) 201-208.
- [3] Jianping Yao, *Microwave Photonics : Photonics Generation of Microwave and Millimeter-Wave Signals*, IJMOT Vol. 5 No.1, January 2010, 16-21.
- [4] S. Khorasani and B. Cabon, *Theory of Optimal Mixing in Directly Modulated Laser Diode*, Scientica Technica Vol. 16 No.2, pp 157-162, December 2009.
- [5] N. Maluf and Kirt William, *An Introduction Microelectromechanical System Engineering*, Norwood, Artech House Inc, 2004.
- [6] Sands D, *Diode Laser*, Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 2005.
- [7] Bahaa E. A. Saleh and Malvin Carl Teich, *Fundamentals Of Photonics*, New York, John Wiley & Sons, Inc. 1991.
- [8] Tomi B. W, Dwi B, Bambang W, *Pembuatan dan Karakterisasi Sumber dan Detektor Cahaya untuk Ekstensometer Serat Optik*, Jurnal HFI Vol 10 No. 1 Juni 2010, 56-67.
- [9] Wildan P. T, Bambang W, *Pengujian Kestabilan Laser Diode Sebagai Prasyarat Pembangkitan Sumber Gelombang Mikro*, Prosiding HFI April 2012, 172-175.

Sifat Transportasi Muatan Molekul DNA Aperiodik: Karakteristik I-V Bergantung Frekuensi Getar Gerak Memutar

Vandan Wiliyanti* dan Efta Yudiarsah

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16424

*Email: vandan.wiliyanti@ui.ac.id

ABSTRAK

Sifat transportasi muatan berupa karakteristik I-V yang bergantung frekuensi pada molekul DNA aperiodik telah dipelajari. Model DNA yang digunakan adalah DNA rantai ganda dengan urutan basa GCTAGTACGTGACGTAGCTAGGATATGCCTGA pada satu rantai dan komplemennya pada rantai lainnya. DNA tersebut dihubungkan dengan elektroda di kedua ujungnya. Sifat dasar transport muatan dipelajari dengan meletakkan molekul DNA aperiodik di antara dua elektroda metal. Molekul DNA dimodelkan dengan menggunakan pendekatan Hamiltonian Ikatan Kuat yang melibatkan pengaruh gerak memutar pada energi basa dan konstanta loncatan elektron antarbasas. Skema Slater-Koster digunakan pada konstanta loncatan elektron yang dipengaruhi gerak memutar pasangan basa. Sifat transportasi elektron dipelajari dengan menghitung karakteristik I-V dari probabilitas transmisi menggunakan formula Landauer-Büttiker. Probabilitas transmisi elektron dihitung menggunakan teknik transfer matrik dan metode hamburan matrik secara bersamaan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada temperatur 4,2 K dan 30 K pada nilai ketidakaturan energi *backbone* fosfat tertentu, arus mengalami kenaikan dengan variasi frekuensi gerak memutar. Selain itu, tegangan ambang membesar dan arus turun ketika temperatur menurun.

Kata Kunci: Frekuensi Gerak Memutar, Karakteristik I-V, Molekul DNA Aperiodik, Transport Elektron.

I. PENDAHULUAN

DNA merupakan molekul yang memiliki peran penting dalam kehidupan. DNA tersusun empat jenis basa DNA (*nucleobase*) dan molekul gula-fosfat (*DNA backbone*) yang disebut monomer DNA. Dengan adanya ikatan hidrogen antarbasas dan *backbone* DNA, ketika pasangan basas bertumpuk terbentuk struktur *double helix* seperti tangga memilin. Untuk pertama kalinya *double helix* diusulkan oleh Watson dan Crick [1]. Berbagai hal tentang DNA seperti struktur DNA di bidang ilmu.

Biologi, sifat alami DNA, Fungsi dari DNA serta perilaku DNA di lingkungan sekitar telah diteliti. Salah satu permasalahan yang sangat menarik dalam penelitian DNA adalah transport muatan atau konduktivitas di dalam DNA [2]. Peningkatan jumlah penelitian mengenai sifat transportasi elektron pada molekul DNA disebabkan oleh keinginan para peneliti untuk memahami sifat transport DNA dan juga untuk menciptakan perangkat elektronik nanoteknologi berbasis molekul DNA, DNA diharapkan dapat berfungsi sebagai komponen penyusun rangkaian elektronik [4] atau sebagai cetakan untuk menyusun rangkaian elektronik tersebut [17].

Hasil yang diperoleh pada eksperimen sifat kelistrikan molekul DNA sangat beragam sehingga DNA dapat digolongkan sebagai konduktor [3-5], semikonduktor [2,6,7], isolator

[8-11] dan superkonduktor [12]. Perbedaan tersebut disebabkan oleh antara lain pengaruh temperatur dan lingkungan. Teori Eley dan Spivey menjelaskan bahwa DNA dapat menghantarkan arus listrik akibat tumpang-tindih orbital π [13]. Konduktivitas listrik dapat diukur melalui hubungan arus (I) dan tegangan (V) [15]. Porath dkk [2]. K.H Yoo dkk [6] dan Tran dkk. [14] menunjukkan bahwa konduktivitas DNA bergantung pada temperatur. Selain untuk penggunaan nanoteknologi, sifat kelistrikan DNA menarik karena kemungkinan terlibat di proses biologi, salah satunya adalah perbaikan basas DNA yang rusak yang telah dilakukan oleh Dandliker dkk [5].

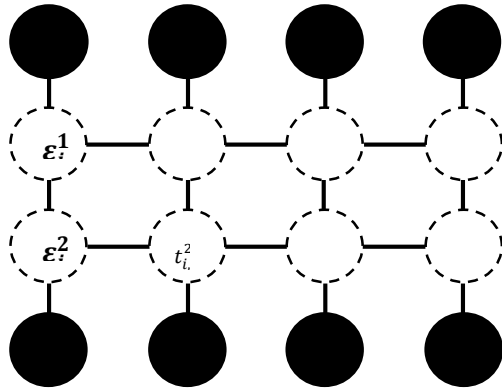
Hasil perhitungan Zhong [16] menunjukkan adanya transisi sifat konduktivitas DNA dari insuklatif menjadi konduktif. Hasil penelitian baik secara eksperimen dan teoritis menunjukkan bahwa sifat konduktivitas DNA dipengaruhi lingkungan sekitarnya melalui *backbone* DNA. Urutan basas juga sangat mempengaruhi sifat konduktansi DNA karena variasi profil potensial. Selain itu, Gerakan pasangan basas secara kolektif yang disebabkan oleh fonon dan fluktuasi energi termal juga berpengaruh pada konduktivitas DNA [17].

Dalam penelitian ini, kami menggunakan molekul DNA Aperiodik untuk mempelajari sifat transportasi muatan yang bergantung frekuensi

gerak memutar guna mengetahui karakteristik I-V. Parameter yang diperhatikan pada penelitian kami adalah konstanta kopling elektron-fonon antarbase intrastrand, interstrand, temperatur dan frekuensi osilasi basa-basa DNA. Selanjutnya, untuk bahan dan metode yang akan digunakan pada penelitian kami akan dijelaskan secara teoritis dan terperinci.

II. BAHAN DAN METODA

Model DNA yang digunakan dalam penelitian kami adalah DNA rantai ganda dengan urutan basa GCTAGTACGTGACGTAGCTAG GAT ATGCCA pada satu rantai dan komplemennya pada rantai lainnya. DNA tersebut dihubungkan dengan elektroda di kedua ujungnya. Sifat dasar transport muatan dipelajari dengan meletakkan molekul DNA aperiodik di antara dua elektroda metal seperti diperlihatkan pada gambar 1. Panjang rantai DNA yang digunakan berjumlah 32 pasangan basa (elektroda – 32 pasang basa DNA – elektroda).



Gambar 1. Skema diagram model molekul DNA yang dipelajari *site* ganda yang diletakkan di antara dua elektrode metal. Lingkaran hitam menggambarkan *site* tulang belakang gula-fosfat (*backbone*) DNA, lingkaran hitam putus-putus menggambarkan keempat jenis basa di DNA. Garis yang menghubungkan dua *site* menunjukkan jalur perpindahan elektron.

Pada model ini, *site-site* basa pada rantai yang sama juga terhubung satu sama lain. Hubungan antarsite dalam rantai baik satu rantai maupun di rantai yang berbeda menggambarkan jalur untuk perpindahan muatan (elektron) antarbase. Kemungkinan elektron berpindah dari satu *site* ke *site* yang lain dinyatakan dengan konstanta lompatan. Masing-masing *site* basa pada rantai pertama terhubung dengan *site backbone* atas (\uparrow), sedangkan masing-masing *site* pada rantai kedua terhubung dengan *site backbone* bawah (\downarrow)

tetapi *site-site backbone* tidak terhubung satu sama lain. Artinya, elektron dapat berpindah dari basa ke backbone dan sebaliknya, namun tidak dapat berpindah dari satu *site backbone* ke *site backbone* yang lain.

$$H = \sum_{i=1}^L [\sum_{\tau=1,2} \{ (\varepsilon_i^\tau + \phi_i^\tau) |i, \tau\rangle \langle i, \tau| + \sum_{k=1,2} t_{i,i+1}^{\tau,k} |i, \tau\rangle \langle i+1, \tau| \} + \sum_{q=\uparrow, \downarrow} \{ B_i^q |i, q\rangle \langle i, q| + t_{i,i}^q |i, \tau\rangle \langle i, q| \} + t_{i,i}^{1,2} |i, 1\rangle \langle i, 2|] + h.c. \quad (1)$$

dengan

$$\phi_i^\tau = b_{i-1,i}^\tau (\cos \Delta_{i-1,i}^\tau - \cos \varphi_{eq}) + b_{i,i+1}^\tau (\cos \Delta_{i,i+1}^\tau - \cos \varphi_{eq})$$

$$\Delta_{i-1,i}^{\tau,k} = \varphi_{eq} - (\varphi_{i-1}^\tau - \varphi_i^k)$$

$$\Delta_{i,i+1}^{\tau,k} = \varphi_{eq} - (\varphi_i^\tau - \varphi_{i+1}^k) \quad (2)$$

Pada persamaan (2), L merupakan jumlah pasangan basa yang digunakan dalam penelitian kami adalah 32 pasangan basa; i menyatakan nomor *site*; τ merupakan urutan rantai basa; dan q menyatakan urutan cabang *backbone*. Parameter ε_i^τ adalah energi *onsite* basa pada *site* i dan rantai ke τ dan B_i^q yaitu energi *onsite backbone* pada *site* i dan arah elektron pindah q . Selanjutnya parameter $b_{i-1,i}^\tau$ dan $b_{i,i+1}^\tau$ yaitu parameter yang menggambarkan pengaruh vibrasi pada energi *onsite* basa-basa yang berdekatan pada rantai τ untuk selanjutnya yang disebut konstanta kopling elektron-fonon. Sedangkan ϕ_i^τ merupakan efek dari gerak memutar DNA yang mempengaruhi energi *onsite* satu basa akibat adanya gangguan fonon. Sudut antar pasangan basa terdekat dalam posisi equilibrium (φ_{eq}) dipilih sebesar 36° [1-3, 6, 8]. Sementara φ_i^τ adalah deviasi sudut putar dari equilibrium pada untai ke τ dan cabang ke *site* i . Sedangkan untuk $t_{i,i+1}^{\tau,k}$, t_i^q dan $t_i^{1,2}$ menggambarkan amplitudo hopping intrastrand dan interstrand, amplitudo hopping basa *site* rantai τ ke backbone *site* i cabang q , amplitudo hopping di pasangan basa Watson crick. Parameter b merupakan konstanta kopling muatan dengan gerak memutar pasangan basa.

Gerak memutar basa disebabkan oleh fluktuasi termal [21 dan 24], sehingga nilai φ_i^j dimodelkan mengikuti distribusi Gaussian dengan nilai rerata

nol dan standar deviasi $\sqrt{k_b T / (I_n \omega^2)}$. T adalah temperatur sistem; k_b merupakan konstanta Boltzmann; I_n adalah momen inersia basa yang diasumsikan sama untuk semua basa dan diambil nilai dalam orde nilai teoritis yaitu $1,0 \times 10^{-44}$ kgm² [25]; dan ω adalah frekuensi gerak memutar pasangan basa. Selain mempengaruhi energi basa, pengaruh gerak memutar pada konstanta *hopping* antarbasa diperhitungkan menggunakan teori model semi-empiris Slater-Koster [26]. Hasil ekspansi matematis, konstanta lompatan *intra-strand* dapat dinyatakan dengan :

$$t_{i,i+1}^{j,k} = t_{i,i+1}^{pa} [1 - \alpha_{i,i+1}^{pp} \sin^2(\Delta_{i,i+1}^{j,j}/2)] \exp [-\beta_{i,i+1}^{pa} (\cos \varphi_{eq} - \cos \Delta_{i,i+1}^{j,j})] / [1 - \alpha_{i,i+1}^{pp} \sin^2(\frac{\varphi_{eq}}{2})]$$

Konstanta Lompatan elektron *inter-strand*,

$$t_{i,i+1}^{j,k} = t_{i,i+1}^{sl} [1 - \alpha_{i,i+1}^{sl} \cos^2(\Delta_{i,i+1}^{j,k}/2)] \exp [\beta_{i,i+1}^{sl} (\cos \varphi_{eq} - \cos \Delta_{i,i+1}^{j,j})] / [1 - \alpha_{i,i+1}^{pa} \cos^2(\frac{\varphi_{eq}}{2})]$$

Konstanta lompatan elektron antarbasa di pasangan basa Watson-Crick,

$$t_{i,i+1}^{j,k} = t_{i,i}^{pp} [1 + \alpha_{i,i}^{pp} \sin^2\{(\varphi_i^j - \varphi_i^k)/2\}] \exp[\beta_{i,i}^{pp} \{(\varphi_i^j - \varphi_i^k)/2\}] \quad (3)$$

Pada persamaan (3) memiliki nilai parameter α dan β yang digambarkan sama untuk setiap pasangan dan untuk *hopping intra-strand* masing-masing bernilai $\alpha^{pa} = 6,73$ dan $\beta^{pa} = 6,26$, *inter-strand* $\alpha^{sl} = 1,39$ dan $\beta^{sl} = 2,85$, pasangan Watson-Crick $\alpha^{pp} = 1,0$ dan $\beta^{pp} = 11,5$. Nilai parameter *hopping* antarbasa diperlihatkan di tabel 1. Hal ini disebabkan pengaruh temperatur, molekul di medium bergerak acak. Energi *backbone* berinteraksi dengan molekul-molekul tadi secara acak. Interaksi acak tersebut mengubah energi *backbone* sehingga terjadi ketidakteraturan distribusi energi *backbone*. Ketidakteraturan ini dilibatkan dalam model dengan cara membuat energi di masing-masing tulang belakang gula-fosfat B_i^k terdistribusi secara uniform dalam rentang $[D-W, D+W]$, dengan nilai W mewakili ketidakteraturan energi dan D merupakan energi *site backbone* tanpa ketidakteraturan. Nilai D dipilih sebesar 9,36 eV. Probabilitas transmisi elektron di setiap energi dari satu elektrode ke elektrode dihitung menggunakan teknik matriks transfer dan metode matriks hamburan digunakan secara simultan dengan mengikuti prosedur [27].

Kontak antara molekul DNA dan masing-masing elektrode diwakili oleh *hopping* elektron yang nilainya diambil sama dengan *hopping* elektron di elektrode metal.

Tabel 1. Parameter konstanta lompatan elektron antarbasa ($t_{x,y}$) and kopling muatan dan gerak memutar pasangan basa ($b_{x,y}$) untuk Hamiltonian ikatan kuat. [17,19].

Basa (x,y)	$t_{x,y}^{pa}$ (eV)	$t_{x,y}^{sl}$ (eV)	$t_{x,y}^{pp}$ (eV)	$b_{x,y}$ (eV)
A,A	-	0,09	-	-
T,T	-	0,15	-	-
A,T	0,29	-	0,38	0,0291
G,G	0,3	0,14	-	0,0334
C,C	0,38	0,28	-	0,0341
G,C	0,14	0,27	0,57	0,0299
G,A	0,36	0,16	-	0,0261
G,T	0,73	0,49	-	0,0296
C,A	0,17	0,22	-	0,0294
C,T	0,63	0,23	-	0,0337

III. HASIL DAN DISKUSI

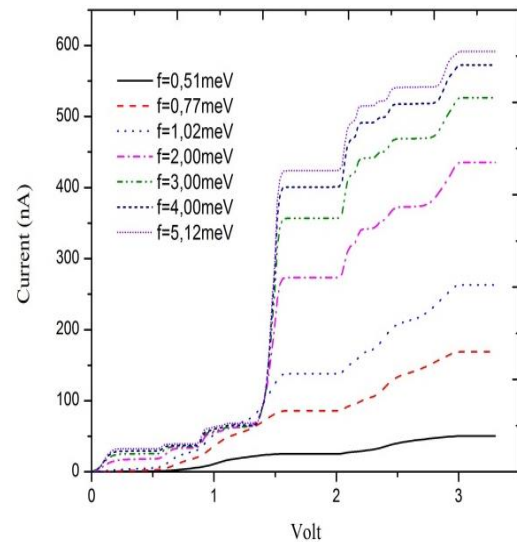
Probabilitas transmisi dan karakteristik I-V molekul DNA Aperiodik dengan $W = 0$ *onsite* energi di W teratur pada temperatur $T = 4,2$ K dan $T = 30$ K dibeberapa frekuensi gerak memutar pasangan basa telah dihitung. Karakteristik I-V yang dihitung menggunakan formula Landauer-Büttiker untuk energy Fermi = 8,45 eV [20] ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3. Perhitungan I-V ini dilakukan dengan mengasumsikan bahwa potensial jatuh secara simetri di kontak. Dapat dilihat pada gambar 2 pada frekuensi 5,12 meV, arus maksimal mendekati 600 nA. Arus mengecil dengan penurunan frekuensi hingga mendekati 50 nA pada frekuensi 0,51 meV. Pada $f = 3,00$ meV dan 4,00 meV mengalami kenaikan arus stabil sebesar 500 nA dan 550 nA. Selain itu, $f = 0,77$ meV dan 1,02 meV arus membesar secara perlahan hingga kenaikan sebesar 150 dan 250 nA. Dan terakhir

pada frekuensi 2,00 meV mempunyai nilai arus yang membesar dengan kenaikan secara cepat dari frekuensi sebelumnya. Arus yang membesar dengan variasi frekuensi mengalami kenaikan yang teratur dan stabil. Hal ini, dikarenakan *onsite* energi di W teratur. Sedangkan tegangan membesar seiring dengan beragam frekuensi gerak memutar.

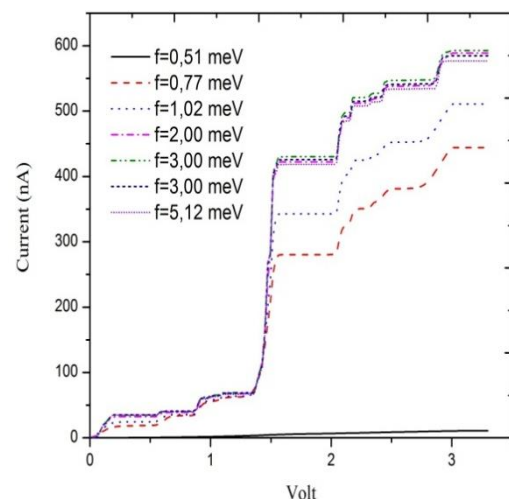
Perubahan arus yang tidak terlalu membesar diamati di daerah dengan tegangannya rendah untuk $T = 4,2$ K adanya tegangan dimana arus mulai membesar dengan cepat hingga mencapai 550 nA pada frekuensi 5,12 meV berbeda dengan frekuensi rendah 0,51 meV mengalami penurunan arus. Pada $f = 3,00$ meV dan 4,00 meV mengalami kenaikan arus yang stabil mendekati 600 nA seperti frekuensi 5,12 meV. Selain itu, $f = 1,02$ meV dan 2,00 meV arus membesar dengan kenaikan secara perlahan sebesar 150 dan 250 nA. Dan terakhir pada frekuensi 0,77 meV. Mengalami penurunan arus maksimum sekitar dua lipat pada suhu $T = 4,2$ K. Di wilayah tegangan rendah, Perubahan arus mengalami peningkatan seiring dengan beragamnya frekuensi secara perlahan sampai di $f = 5,12$ MeV.

Dari kedua temperatur tersebut mempunyai kesamaan dan perbedaan yang signifikan. Hal ini, Kestabilan karakteristik I-V molekul DNA Aperiodik bergantung variasi frekuensi terutama frekuensi tinggi kedua temperatur tersebut memiliki arus yang membesar mencapai 600 nA. Selain itu, untuk frekuensi 0,77 meV masing-masing temperatur mengalami perbedaan kenaikan arus. Dimana temperatur 4,2 K arus membesar secara cepat dari frekuensi sebelumnya arus tidak mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan nilai ketidakaturan energi *backbone* fosfat tertentu. Sedangkan temperatur 30 K, frekuensi 2,00 meV arus membesar cukup signifikan dari frekuensi 1,02 meV. Pada temperatur 30 K mempunyai arus maksimal lebih tinggi daripada temperatur 4,2 K. Hal tersebut disebabkan pada gambar 1 konstanta loncatan elektron lebih besar daripada gambar 3 dengan *onsite* energi yang teratur. Karakteristik I-V meningkat secara tidak signifikan dengan menurunnya frekuensi gerak memutar pasangan basa. Karena menurunnya frekuensi getar memutar menyebabkan simpangan sudut atau deviasi sudut meningkat, sehingga struktur DNA menjadi lebih tidak teratur. DNA Aperiodik mempunyai urutan DNA yang sudah tidak teratur,

maka pengaruh ketidakaturan dari faktor frekuensi gerak memutar tidak terlalu signifikan.



Gambar 2. Karakteristik I-V DNA Aperiodik dengan $T = 30$ K dan $W = 0$



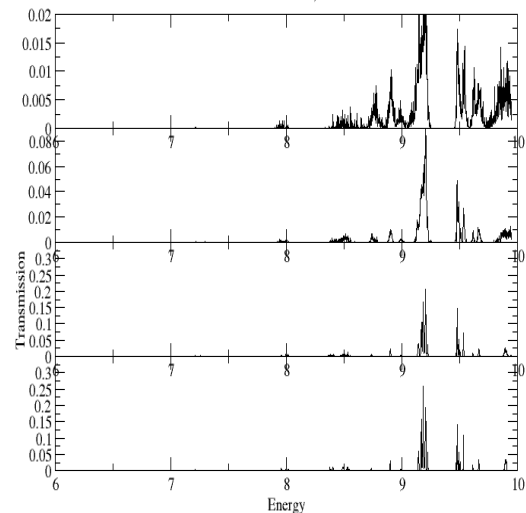
Gambar 3. Karakteristik I-V DNA Aperiodik dengan $T = 4,2$ K dan $W = 0$

Probabilitas transmisi elektron dihitung menggunakan teknik transfer matrik dan metode hamburan matrik secara bersamaan. Molekul DNA dimodelkan dengan menggunakan pendekatan Hamiltonian Ikatan Kuat yang melibatkan pengaruh gerak memutar pada energi basa dan konstanta loncatan elektron antarbas. Skema Slater-Koster digunakan pada konstanta loncatan elektron yang dipengaruhi gerak memutar pasangan basa. Probabilitas transmisi secara teoritis dihitung oleh Roche [26] menunjukkan bahwa temperatur meningkat, menurunnya probabilitas transmisi dan jumlah *site* dengan transmisi tinggi juga menurun. Namun, hasil kami memberikan indikasi bahwa

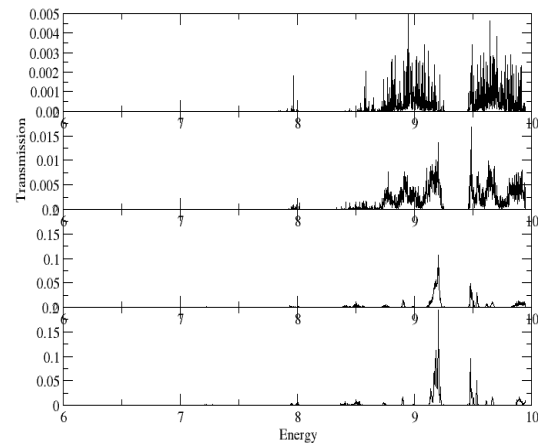
tegangan membesar dan arus turun ketika temperatur menurun. Hal tersebut karena perbedaan frekuensi osilasi gerak memutar basa pada sifat transportasi muatan molekul DNA. Pada gambar 4 dan 5 menunjukkan probabilitas transmisi DNA Aperiodik dengan 4 frekuensi pada temperature 4,2 K dan 30 K. Kedua gambar tersebut menginterpretasikan terdapatnya 3 energi ikat dengan transmisi tinggi. Energi ikatnya berkisar 7-8 eV, 8,4-9 eV dan 9,4-10 eV.

Pada saat temperatur rendah 4,2 K, probabilitas transmisi di beberapa energi ikat membesar sepanjang perubahan frekuensi yang membesar. Penurunan tersebut lebih terlihat di ikatan ke 2 dan ikatan ke 3. Pada frekuensi 0,51 meV dan frekuensi 1,02 meV, keduanya mempunyai transmisi yang mengecil. Sedangkan frekuensi 3,00 meV dan frekuensi 5,12 meV, keduanya mengalami transmisi yang membesar. Hal ini kembali membuktikan hubungan karakteristik I-V terhadap transmisi bergantung pada frekuensi gerak memutar. Sedangkan temperatur yang lebih besar yaitu 30 K mengalami penurunan di sepanjang perubahan frekuensi yang mengecil terutama penurunan tersebut sangat terlihat pada energi ikat ke 3. Frekuensi 0,51 meV mempunyai transmisi yang mengecil daripada frekuensi 1,02 meV yang mengalami kenaikan transmisi secara perlahan terutama pada energi ikat 2. Terakhir pada frekuensi 3,00 meV dan 5,12 meV, keduanya memiliki nilai transmisi yang membesar dengan kenaikan secara cepat.

Transmisi Probabilitas dari keadaan energi pada umumnya berkurang secara perlahan seiring dengan penurunan frekuensi gerak memutar pasangan basa dan kenaikan temperatur. Terutama perbedaan yang signifikan pada frekuensi 5,12 meV dengan temperatur 4,2 K mencapai transmisi 0,3 sedangkan temperatur 30 K mencapai transmisi 0,15 meV. Dengan keberadaan elektrode logam di kedua ujungnya dan memiliki amplitudo locatan elektrode DNA 0,75 eV tidak merubah banyak ciri utama dari transportasi DNA. Dengan $w = 0$ menyebabkan Keteraturan perubahan transmisi seiring perubahan frekuensi yang menaik. Ketika frekuensi getar memutar rendah, maka deviasi sudutnya membesar menyebabkan jarak antar basa di intrastrand mengecil dan jarak antar basa di interstrand membesar.



Gambar 4. Probabilitas transmisi DNA Aperiodik dengan $T = 4,2$ K dan $W = 0$ dengan frekuensi beragam (a) $f = 0,51$ meV, (b) $f = 1,02$ meV, (c) $f = 3,00$ meV, dan (d) $f = 5,12$ meV



Gambar 5. Probabilitas transmisi DNA Aperiodik dengan $T = 30$ K dan $W = 0$ dengan frekuensi beragam (a) $f = 0,51$ meV, (b) $f = 1,02$ meV, (c) $f = 3,00$ meV, (d) $f = 5,12$ meV.

IV. KESIMPULAN

Sifat transportasi muatan berupa karakteristik I-V yang bergantung frekuensi pada Model DNA yang digunakan telah dihitung. DNA yang digunakan adalah DNA rantai ganda dengan urutan basa random pada satu rantai dan komplemennya pada rantai lainnya dan dihubungkan dengan elektroda di kedua ujungnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada temperature 4,2 K dan 30 K DNA dengan energi fosfat uniform, arus mengalami kenaikan dengan kenaikan frekuensi gerak memutar pada nilai ketidakaturan *sequence* DNA tertentu, arus mengalami kenaikan dengan variasi frekuensi gerak memutar. Selain itu, tegangan saat arus meningkat dengan cepat mengecil

dengan kenaikan tempetarur sementara tergantung frekuensi yang digunakan arus maksimum meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang sudah memberikan kontribusi banyak dalam penelitian ini baik dukungan berupa moril maupun fasilitas seperti UPP-IPD Universitas Indonesia atas izin menggunakan fasilitas Laboratorium komputer, Daniel K.Suhendro yang telah memberikan nilai parameter-parameter perhitungan dan penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) Tahun Anggaran 2015 Nomor: 0529/UN2.R12/ HKP. 05.00/ 2015.

REFERENSI

- [1] J.Watson dan F.Crick, *Nature* (London), 171 (1953),737
- [2] Porath, D., Bezryadin A., de Vries S., dan Dekker C., 2000, Direct measurement of electrical transport through DNA molecules, *Nature*, **403**, 635–638.
- [3] Boon, E.M., Livingston A.L., Chmiel N.H., David S.S., dan Barton J.K., 2003, DNA-mediated charge transport for DNA repair, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **100**, 12543–12547.
- [4] Braun, E., Eichen Y., Sivan U., dan Ben-Yoseph G, 1998, DNA-templated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire, *Nature*, **391**, 775–778.
- [5] Dandliker, P.J., Holmlin R.E., dan Barton J.K., 1997, Oxidative Thymine Dimer Repair in the DNA Helix, *Science*, **275**, 1465–1468.
- [6] K.H.Yoo, D.H. Ha, J.O. Lee, J.W.park, J.J Kim, H.Y. Lee, T.Kawai, H.Y.Choi, *Phys.Rev.lett.* 87 (2001) 198102.
- [7] H. Cohen, C. Nogues, R. Naaman, D.Porath, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102 (2005) 11589
- [8] Braun, E., Eichen Y., Sivan U., dan Ben-Yoseph G, 1998, DNA-templated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire, *Nature*, **391**, 775–778.
- [9] DePablo, P.J., dan Moreno-Herrero F., 2000, Absence of dc-Conductivity in λ -DNA, *Physical Review Letters*, **85**, 4992–4995
- [10] Guo A.M., Yang Z., Zhu H.-J., dan Xiong S.-J., 2010, Influence of backbone on the charge transport properties of G4-DNA molecules: a model-based calculation, *Journal of Physics: Condensed Matter*, **22**, 065102-065108
- [11] Guo, A.-M., Xiong S.-J., Yang Z., dan Zhu H.-J., 2008, Enhancement of transport in DNA-like systems induced by backbone disorder, *Physical Review E*, **78**, 0619221–0619225.
- [12] Kasumov, A., Kociak M., Guéron S., Reulet B., Volkov V.T., Klinov D.V., dan Bouchiat H., 2001, Proximity-induced superconductivity in DNA, *Science*, **291**, 280–282.
- [13] Eley, D. D. dan Spivey D.I., 1962, Semiconductivity of organic substances, *Transactional Faraday Society*, **58**, 411
- [14] P.Tran, B. Alavi, G. Gruner, *Phys.Rev. Let.*85 (2000) 1564
- [15] Porath, D.,G. Cuniberti,R.Di felice, *Top.Cuff.Chem.*237.183-227 (2004)
- [16] Zhong, J.X., Nanotechnology Conference and Trade Show San Fransisco California (2003)
- [17] E. Yudiarsah, D. K. Suhendro, R. Saleh, *Twisting Motion Dependent Charge Transport Properties Of Poly(dG)-Poly(dC) DNA Molecular Wire*, AIP Con. Proc. 1617, 35-38 (2014)
- [18] Kurnia Suhendro, D., Yudiarsah E., dan Saleh R., 2010, Effect of phonons and backbone disorder on electronic transport in DNA, *Physica B: Condensed Matter*, **405**, 4806–4811.
- [19] Kurnia Suhendro, D, 2014, Komunikasi pribadi.
- [20] Maciá, E., Triozon F., dan Roche S., 2005, Contact-dependent effects and tunneling currents in DNA molecules, *Physical Review B*, **71**, 1131062–1131065.
- [21] Maciá, E. dan Roche S., 2006, Backbone-induced effects in the charge transport efficiency of synthetic DNA molecules, *Nanotechnology*, **17**, 3002–3007.
- [22] Miller Jr, J.H., Villagrán M.Y.S, Maric S., dan Briggs S.M., 2015, Normal and Impaired charge transport in biological system, *Physica B*, **460**, 119-125.
- [23] Muren, N.B., Olmon E.D., dan Barton J.K., 2012, Solution, surface, and single molecule platforms for the study of DNA-mediated charge transport, *Physical chemistry chemical physics*, **14**, 13754–13771.
- [24] Yu, Z. dan Song X., 2001, Variable range hopping and electrical conductivity along the DNA double helix, *Physical Review Letters*, **86**, 6018-6021.

- [25] Yakushevich, L.V., 2004, *Nonlinear physics of DNA*. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH, pp. 174.
- [26] Endress, R. G., Cox D. L., dan Singh R.R.P, 2004, Colloquium: The quest for high-conductance DNA, *Review of Modern Physics*, **76**, 195-214.
- [27] Taniyama, H. dan Yoshii A., 1996, Scattering-matrix method for the tight-binding model of heterostructure electronic states, *Physical Review B*, **53**, 9993–9999.
- [28] Roche, S., 2003, Sequence Dependent DNA-Mediated Conduction, *Physical Review Letters*, **91**, 1081011–1081014.

Estimasi Kinerja Sistem Produksi Ekonomi Dengan Fungsi Produksi Berbasis Entropi

D.A. Suriamihardja* dan Amiruddin

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*Email: dahmaduh@gmail.com

ABSTRAK

Suatu sistem ekonomi produksi senantiasa berupaya menemukan suatu proses yang paling boleh jadi mendapatkan surplus terbesar. Para ahli ekonomi-mikro terkemuka telah memformulasi suatu fungsi produksi yang digunakan untuk mengukur kinerja suatu sistem ekonomi produksi. Penting bagi seorang perencana untuk menghitung terlebih dahulu kinerja dari sejumlah faktor produksi. Entropi merupakan pendekatan bermanfaat untuk menghitung kinerja suatu produksi ekonomi terlebih dahulu sebelum suatu keputusan diambil. Dalam tulisan ini, formulasi entropi yang dimaksud diturunkan melalui perata-rataan sejumlah *microstates*. Penelusuran ulang sejumlah formula yang digunakan didiskusikan untuk memetik kemudahan dalam pemahaman sebagai keluaran dari tulisan ini.

Kata Kunci: entropi, fungsi produksi, sistem ekonomi produksi, surplus

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Aturan dalam ekonomi menentukan sejumlah pilihan sumberdaya yang terbatas untuk banyak alokasi. Sehingga memilih sumberdaya yang paling efisien untuk sejumlah alokasi tertentu akan menjadi suatu pekerjaan pelik dalam pengambilan keputusan dari suatu aturan ekonomi yang dianut. Sudah barang tentu tidak semua alokasi yang diinginkan akan terpenuhi oleh sejumlah sumberdaya yang tersedia. Paling tidak pekerjaan sudah dapat diselesaikan dengan suatu metode yang dianggap paling memadai. Setelah suatu pilihan berhasil diputuskan, kemudian berlanjut kepada proses pembuatan sejumlah barang dan jasa dalam suatu unit sistem produksi.

Proses pengubahan sejumlah input, seperti jasa tenaga kerja dan jasa penyedia modal, bahan mentah, energi, teknologi, dan informasi diproses dalam suatu unit sistem produksi menjadi sejumlah output. Secara alami, selama proses tersebut berlangsung tidak semua energi dan materi dimanfaatkan, tetapi sebagian energi akan terlesap, sebagian materi akan menjadi limbah, dan berujung pada pembesaran entitas entropi. Suriamihardja (2008, 2014) mengungkapkan bahwa karena umat manusia telah dianugerahi pengetahuan untuk menggunakan materi dan energi secara efisien, maka upaya untuk menemukan teknologi proses yang efisien merupakan dambaan yang sungguh-sungguh untuk mereduksi (*reduce*) masalah limbah materi dan lesapan energi, baik dengan cara mendaur

ulang (*recycle*) ataupun menggunakannya (*reuse*) kembali.

Annala dan Salthe (2009), peneliti dalam bidang biosains yang menaruh perhatian dalam bidang ekonomi, menyebutkan bahwa: (1) aktivitas ekonomi dapat dipandang sebagai proses evolusi yang diatur dengan hukum termodinamika kedua; (2) dalam prosesnya, seperti energi mengalir sepanjang saluran yang mungkin, dari kerapatan tinggi menuju kerapatan rendah; (3) begitu pula entropi, sebagai ukuran kebolehjadian logaritmik, mengkuantifikasi rute sistem evolusi menuju keadaan yang paling bolehjadi. Ketiga proses itu merupakan azas distribusi energi dan produksi entropi maksimum yang menjadi dasar untuk menjelaskan sejumlah hukum dan aturan dalam bidang ekonomi dari sudut pandang termodinamika.

Tishin dan Baklitskaya (2008) telah menangkap isyarat kesesuaian antara masalah ekonomi dengan termodinamika. Misalnya dengan membandingkan antara formula kesejahteraan dari Pareto dengan potensial energi dari distribusi Boltzmann-Gibbs-Maxwell. Menurut Pareto jumlah fraksi orang yang memiliki uang di antara $D - \frac{1}{2}\Delta D$ dan $D + \frac{1}{2}\Delta D$ adalah:

$$\Delta F = \frac{\exp(-D/D_a)}{D_a} \Delta D \quad (1)$$

Besaran D_a adalah nilai rata-rata pendapatan per tahun. Formula Pareto ini serupa dengan fraksi molekul gas yang bersuhu T , dan memiliki

potensial energi antara $E_p - \frac{1}{2}\Delta E_p$ dan $E_p + \frac{1}{2}\Delta E_p$, yang ditulis serupa, seperti:

$$\Delta \mathcal{F} = \frac{\exp(-E_p/kT)}{kT} \Delta E_p \quad (2)$$

Huruf k menyatakan tetapan Boltzmann.

Berdasar pada kesesuaian ini, kemudian Tishin dan Baklitskaya (2008) mengungkapkan juga bahwa ketika molekul-molekul bertumbukan, sejumlah energi mekaniknya beralih dari satu molekul ke molekul lainnya, tetapi secara total energi mekanik tersebut tidak mengalami perubahan. Aturan serupa dapat berlangsung pada interaksi di antara pembeli dan penjual barang atau jasa. Setelah transaksi uang penjual bertambah, sedangkan uang pembeli berkurang, tetapi jumlah uang secara total tidak berubah. Sebagai gantinya pembeli mendapatkan jasa atau barang dari penjual.

Pasangan Chatterjee dan Cakrabarti (2007) dan juga pasangan Banerjee and Yakovenko (2009) memberikan contoh pemahaman tentang keseimbangan uang di antara sejumlah agen yang bertransaksi dalam suatu sistem. Misalnya pada saat tertentu, masing-masing agen i memiliki uang sejumlah m_i . Agen-agen tersebut melakukan transaksi satu sama lain, sebagai hasilnya terdapat Δm uang yang beralih dari agen i ke agen j , yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\left. \begin{aligned} m_i(t) \rightarrow \dot{m}_i(t+1) &= m_i(t) - \Delta m \\ m_j(t) \rightarrow \dot{m}_j(t+1) &= m_j(t) + \Delta m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Jumlah uang yang beredar di antara dua agen i dan j , sebelum dan sesudah transaksi tidak berubah, sehingga berlaku:

$$m_i(t) + m_j(t) = \dot{m}_i(t+1) + \dot{m}_j(t+1) \quad (4)$$

Tujuan dan Metode Penulisan

Makalah ini bertujuan pada umumnya untuk menelesuri ulang berbagai pemahaman dan cara pandang para penulis pionir dalam bidang ekonofisika atau ekonotermodinamika yang telah berkembang pesat terutama 10 tahun terakhir ini. Secara khusus penulis akan menyoroti formulasi fungsi produksi yang diturunkan dari formulasi entropi menurut Boltzmann-Gibbs-Maxwell dengan fungsi produksi dari Cobb-Douglas yang

sejak lama dikenal dalam bidang ekonomi. Penulisan topik ini termotivasi karena begitu gencar banyak fisikawan meneropong dan menghampiri masalah ekonomi melalui ‘jendela’ entropi, kemudian gayung bersambut banyak ekonom yang juga menanti untuk disapa. Makalah ini disusun dengan metode penulisan yang berurutan secara logis agar dapat melengkapi beragam pengertian dan pemahaman gagasan *transdisciplinary study* antara bidang fisika dan bidang ekonomi. Pembahasan akan berada di antara termodinamika (makro) dan termodinamika statistik (mikro), seperti halnya pada bidang ekonomi topik bahasan terbagi ke dalam ekonomi mikro dan makro.

II. TEORI DASAR

Hukum-hukum Ekonomi Berbasis Termodinamika

Suatu unit sistem produksi memproses materi dan energi dari bentuk input menjadi bentuk output dalam suatu siklus metabolisme ekonomi dapat dijelaskan dengan hukum pertama dan kedua termodinamika, dan kemudian Mimkes (2000, 2002, 2003, 2006) mengembangkan kedua hukum itu menjadi hukum pertama dan kedua bagi ekonomi. Suriamihardja (2014) telah menggunakan kedua hukum ekonomi ini untuk mendiskusikan makna keberlanjutan kuat (*strong sustainability*) dan keberlanjutan lemah (*weak sustainability*) dari suatu metabolisme ekonomi. Keberlanjutan kuat berlangsung apabila didukung oleh keberlimpahan sumberdaya alam, dan keberlanjutan lemah apabila hanya didukung oleh perkembangan teknologi proses.

Mimkes (2003, 2006) menggunakan hukum pertama termodinamika untuk mempelajari siklus suatu unit produksi ekonomi, yaitu:

$$\oint dQ = \oint dE - \oint dW \quad (5)$$

dan karena energi dalam dE (modal dalam ekonomi) adalah suatu differensial eksak, maka untuk satu siklus $\oint dE = 0$. Sedangkan, $\oint dQ$ dan $\oint dW$ merupakan differensial tak eksak, maka dalam satu siklus tidak bernilai nol. Berdasar nilai-nilai satu siklus pada persamaan (5), maka surplus dari suatu metabolisme ekonomi berbentuk:

$$-\oint dW = \Delta Q = \int_A^B dQ - \int_B^A dQ > 0 \quad (6)$$

Nilai surplus bergantung pada kualitas lintasan proses pengintegrasian, teknologi proses yang digunakan, manajemen yang dikenakan, dan bentuk aturan yang dipatuhi. Hukum pertama termodinamika dalam satu siklus ini menjadi hukum pertama ekonomi, yaitu:

Suatu siklus produksi ekonomi memberikan suatu surplus (ΔQ).

Dengan memelihara surplus $\Delta Q > 0$ untuk jangka waktu yang lama akan membuat suatu sistem produksi ekonomi dapat memiliki keberlanjutan. Selain surplus harus bernilai positif, agar suatu sistem produksi ekonomi terjamin berkinerja baik, maka perlu pengendalian oleh nilai efisiensi \mathcal{E} yang besar melalui hubungan $\mathcal{E} = \Delta Q/E$.

Noorman (1995) pengguna hukum kedua termodinamika dalam bidang ekonomi menyatakan bahwa dalam suatu sistem tertutup entropi cenderung menuju nilai maksimum ($\Delta S > 0$), sedangkan entropi merupakan ukuran energi yang tidak dapat digunakan, sehingga hukum ini akan membatasi efisiensi energi yang dapat ditransformasikan. Karena semua proses ekonomi dan biologi tunduk pada hukum termodinamika, maka struktur semesta akan berubah baik oleh lesapan energi maupun transformasi materi. Mimkes (2003, 2006) berdasarkan telaahan Mimkes, Fründ, dan Willis (2002) kemudian merumuskan hukum kedua ekonomi berdasarkan hukum kedua termodinamika seperti berikut:

Fungsi produksi suatu siklus produksi ekonomi adalah $\Delta S = \oint (dQ/T) > 0$.

Secara matematik dS (*fungsi produksi*) adalah diferensial eksak, dibentuk dari diferensial tak eksak dQ dibagi dengan faktor integrasi T . Saslow (1999) dan Mimkes (2003, 2006) menyebutkan bahwa T adalah 'suhu ekonomi.' Dalam suatu masyarakat dengan sejumlah N rumah tangga, maka T adalah modal rata rata per rumah tangga, atau standar hidup masyarakat tersebut. Dalam suatu negara, T sepadan dengan GDP (*Gross Domestic Product*) percapita.

Surplus ekonomi dalam pengertian Saslow (1999) diuraikan menjadi:

$$d\Psi = TdS - Md\lambda - Ndp \quad (7)$$

Pada ruas kiri $d\Psi$ adalah surplus Marshallian, suku pertama TdS pada ruas kanan adalah surplus Veblenian (Thorstein Veblen) berkaitan dengan 'waktu senggang' tenaga kerja karena penggunaan teknologi, suku kedua $-Md\lambda$ disebut surplus keuangan yang berkaitan dengan efisiensi manajemen keuangan berkat upaya spesialisasi produksi, dan suku ketiga $-Ndp$ disebut surplus Smithian (Adam Smith) yang berkaitan dengan perubahan pola konsumsi barang-barang ekonomi. Dari perbandingan kedua pengertian tentang surplus, maka surplus dalam pengertian Mimkes (2003) menurut persamaan (6) adalah suku pertama dari pengertian surplus menurut Saslow (1999) pada persamaan (7), yaitu Veblenian surplus.

Fungsi Produksi

Untuk penyederhanaan pemahaman tentang fungsi produksi digunakan formulasi dari Brown (1968) yang menjelaskan dalam bukunya bahwa menurut teori neoklasik output (Q) dari suatu unit produksi dinyatakan dalam fungsi produksi Cobb-Douglas dengan melibatkan dua faktor produksi, N (ukuran jasa tenaga kerja) dan K (ukuran jasa modal) dituliskan seperti berikut:

$$Q = AN^\alpha K^\beta \quad (8)$$

Dalam persamaan itu, A , α , β , adalah tetapan yang akan ditentukan secara empiris. Produksi marjinal dari tenaga kerja dan modal, masing-masing dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial Q}{\partial N} = \alpha \frac{Q}{N} \quad \text{dan} \quad \frac{\partial Q}{\partial K} = \beta \frac{Q}{K} \quad (9)$$

Persamaan (9) memberikan makna bagi α dan β , masing-masing sebagai elastisitas produksi parsial terhadap input jasa tenaga kerja dan input jasa modal:

$$\alpha = \frac{N}{Q} \frac{\partial Q}{\partial N} \quad \text{dan} \quad \beta = \frac{K}{Q} \frac{\partial Q}{\partial K} \quad (10)$$

Masing-masing tetapan pada persamaan (10) dapat dibaca sebagai rasio persentase perubahan pada input N dan input K terhadap pada

persentase perubahan pada output Q . Jika keduanya digabung, maka $(\alpha + \beta)$ menjadi rasio total persentase perubahan input N dan K terhadap persentase perubahan pada output Q .

Kriteria neoklasik ke-1 mensyaratkan bahwa kenaikan input harus memberikan kenaikan pula pada output, sehingga kedua produksi marginal pada persamaan (8) harus bernilai positif. Selain itu, parameter penting lainnya adalah elastisitas produksi secara parsial masing-masing dinyatakan oleh:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 Q}{\partial N^2} &= \frac{\partial}{\partial N} \left(\frac{\partial Q}{\partial N} \right) = \frac{\alpha(\alpha-1)}{N} \frac{Q}{N} \\ \frac{\partial^2 Q}{\partial K^2} &= \frac{\partial}{\partial K} \left(\frac{\partial Q}{\partial K} \right) = \frac{\beta(\beta-1)}{K} \frac{Q}{K} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Kriteria neoklasik ke-2 mensyaratkan bahwa kenaikan pada input (N dan K) akan membuat penurunan pada masing-masing produksi marginal ($\partial^2 Q / \partial N^2$) dan ($\partial^2 Q / \partial K^2$) atau masing-masing pada persamaan (11) harus bernilai negatif. Karena nilai α dan β lebih kecil dari satu, maka kriteria kedua terpenuhi bagi fungsi produksi Cobb-Douglas.

Kriteria neoklasik ke-3 mensyaratkan bahwa fungsi produksi Cobb-Douglas harus mampu memberikan spesifikasi tentang derajat ‘*returns to scale*.’ Untuk memenuhinya, terlebih dahulu perlu mengecek apakah $(\alpha + \beta)$ merupakan derajat homogenitas dari fungsi produksi Cobb-Douglas. Kenyataan ini segera tampak dengan menggunakan teorema Euler dengan r sebagai derajat homogenitasnya, yaitu:

$$N \frac{\partial Q}{\partial N} + K \frac{\partial Q}{\partial K} = r Q(N, K) \quad (12)$$

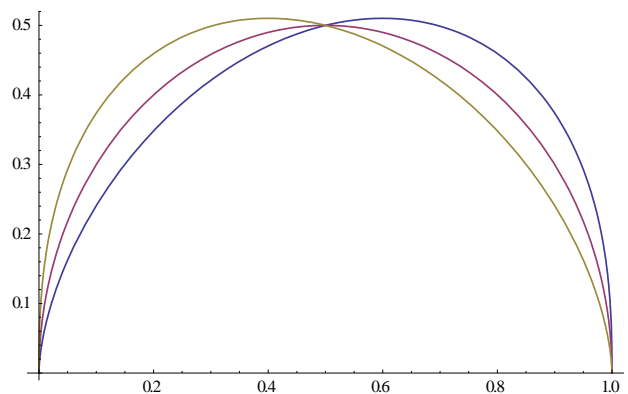
Dari persamaan (9) dan (12) diperoleh derajat homogenitas fungsi produksi Cobb-Douglas $r = (\alpha + \beta)$. Nilai r tersebut akan dispesifikasi, misalnya dengan kenaikan 10% pada input jasa N dan jasa C , maka fungsi produksi Q dinyatakan oleh:

$$\begin{aligned} Q &= A (1.1N)^\alpha (1.1K)^\beta \\ &= A (1.1)^{\alpha+\beta} N^\alpha K^\beta \end{aligned} \quad (13)$$

Dengan kenaikan 10% pada masing-masing input, tampak bahwa produksi akan naik menjadi $(1.1)^{\alpha+\beta}$. Sehingga dapat diambil pengertian bahwa: jika $(\alpha + \beta) < 1$, maka output X akan naik di bawah 10% (*diseconomies of scales*); jika $(\alpha + \beta) = 1$, maka output akan naik 10% (*constat returns of scales*), dan jika $(\alpha + \beta) >$

1 maka output Q akan naik di atas 10% (*economies of scales*). Pengertian ini menguatkan bahwa fungsi produksi Cobb-Douglas mampu memberikan spesifikasi terhadap derajat ‘*returns to scale*.’

Yakovenko (2008) membahas fungsi produksi pada kondisi ‘*constant returns to scale*,’ yaitu suatu agen (perusahaan) yang memproduksi barang sebanyak Q akan meminjam modal K dari agen lain dan harus mengembalikannya dengan bunga hK , dan menyewa tenaga kerja sebanyak N dengan upah w . Kemudian apabila produk sebanyak Q akan dijual ke sejumlah agen dengan harga R , sehingga perusahaan akan menerima laba sebesar $\pi(K, N) = RQ(K, N) - wN - hK$. Agen-agen yang terlibat dalam interaksi ini dipilih secara acak. Kurva penawaran-permintaan secara agregat untuk produk ini diambil memiliki bentuk $R(Q) = v/Q^\eta$, dengan v dan η masing-masing adalah parameter. Secara tradisi perusahaan tersebut akan memaksimalkan laba dengan menggunakan fungsi produksi misalnya berbentuk $Q = N^\alpha K^{1-\alpha}$, dan α adalah suatu parameter. Secara prosedur laba π dapat diperoleh dengan dimaksimalkan terhadap nilai-nilai K dan N . Untuk bentuk kanonik $Q = x^\alpha (1-x)^\beta$ dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva fungsi produksi Cobb-Douglas $Q = x^\alpha (1-x)^\beta$, Q sumbu tegak, dan x sumbu mendatar, untuk $\alpha = 0.6$, $\beta = 0.4$ (miring ke kiri), $\alpha = \beta = 0.5$, (simetris), dan $\alpha = 0.4$, $\beta = 0.6$ (miring ke kanan).

Pengembangan Distribusi Boltzman – Gibbs – Maxwell

Banerjee dan Yakovenko (2010) menyatakan bahwa di antara sejumlah agen dalam suatu sistem tidak boleh ada produksi uang, para agen hanya boleh menerima dari dan mentransfernya ke agen lain. Sehingga sejumlah uang yang

diedarkan dalam suatu sistem yang tertutup bersifat kekal dan dinyatakan oleh:

$$M = \sum_k m_k N_k \quad (14)$$

N_k adalah jumlah agen yang memiliki uang sebesar m_k . Jumlah total agen adalah sebanyak N yang ditulis seperti: $N = \sum_k N_k$. Dalam kasus terjadi pemilikan uang secara merata, maka masing-masing agen akan memiliki uang sebesar M/N , dalam termodinamika kondisi seperti ini biasa dikenal dengan istilah ekipartisi, tetapi tentu sulit tercapai, sehingga kepemilikan akan memenuhi suatu pendistribusian dengan pencapaian entropi secara maksimum. Dalam kondisi seperti ini, konfigurasi kepemilikan uang m_k oleh sejumlah agen N_k akan mengikuti distribusi Boltzmann-Gibbs-Maxwell, seperti:

$$\Omega = \frac{N!}{N_1! N_2! N_3! \dots N_k!} \quad (15)$$

Nilai entitas entropi adalah logaritma dari Ω yaitu: $S = \ln \Omega \cong N \ln N - \sum_k N_k \ln N_k$. Nilai entropi ini harus bernilai maksimum dengan kendala $N = \sum_k N_k$ dan $M = \sum_k N_k m_k$. Untuk mencapai maksud itu, maka digunakan pengali Lagrange λ_1 dan λ_2 dalam fungsi Lagrange $\mathcal{L} = \tilde{S}$ seperti berikut:

$$\mathcal{L} = \tilde{S} = N \ln N - \sum_k N_k \ln N_k - \lambda_1 \sum_k N_k + \lambda_2 \sum_k m_k N_k \quad (16)$$

Syarat maksimum $\partial \mathcal{L} / \partial N_k = \partial \tilde{S} / \partial N_k = 0$, maka diperoleh:

$$\frac{\partial}{\partial N_k} [\sum_k N_k \{\ln N_k - \lambda_1 + \lambda_2 m_k\}] = 0 \quad (17)$$

Menggunakan $N = \sum_k N_k$ dan $M = \sum_k N_k m_k$ dalam persamaan (17) diperoleh:

$$\lambda_1 = \ln \frac{N}{Z} \text{ dan } Z = \sum_k e^{-\lambda_2 m_k} \quad (18)$$

Suhu ekonomi $T = \langle m \rangle$ diformulasi melalui proses perata-rataan seperti berikut:

$$\langle m \rangle = \frac{1}{Z} \sum_k m_k e^{-\lambda_2 m_k} \quad (19)$$

Pengali Lagrange λ_2 dapat diperoleh dari turunan pertama entropi terhadap jumlah uang M (sepadan dengan energi dalam):

$$\frac{\partial \tilde{S}}{\partial M} = \lambda_2 \leftarrow \left(\frac{\partial \tilde{S}}{\partial E} \right)_v = \frac{1}{T} \text{ (termodinamika)} \quad (20)$$

Tampak bahwa pengali Lagrange $\lambda_2 = 1/T$. Melalui pernyataan bahwa $S = \ln \Omega$, dengan dua pengali Lagrange yang sudah ditemukan, fungsi-fungsi termodinamika dapat diturunkan seperti: $M = NT^2 d \ln Z / dT$, $S = N \ln Z + M/T$ dan $F = -N \ln Z$.

Pernyataan $S = \ln \Omega \cong N \ln N - \sum_k N_k \ln N_k$ bersama dengan $N = \sum_k N_k$ dan kebolehjadian $\sum_k p_k = 1$ akan memberi jalan kepada penurunan fungsi produksi dalam ekonomi:

$$S = -N_1 \ln \left(\frac{N_1}{N} \right) - N_2 \ln \left(\frac{N_2}{N} \right) \dots \quad (21)$$

Alternatif-1. Dengan langkah pengaturan dan dengan melibatkan kebolehjadian: $p_k = N_k/N$, maka entropi menjadi:

$$S = -N \ln \left[\left(\frac{N_1}{N} \right)^{p_1} \left(\frac{N_2}{N} \right)^{p_2} \left(\frac{N_3}{N} \right)^{p_3} \dots \right] \quad (22)$$

Suku dalam kurung siku dapat dinyatakan sebagai fungsi produksi:

$$Q_1 = \frac{1}{N} \prod_k N_k^{p_k} \quad (23)$$

Alternatif-2. Entropi pada persamaan (22) diubah menjadi:

$$S = N \ln \left[\left(\frac{N_1}{N} \right)^{-p_1} \left(\frac{N_2}{N} \right)^{-p_2} \left(\frac{N_3}{N} \right)^{-p_3} \dots \right] \quad (24)$$

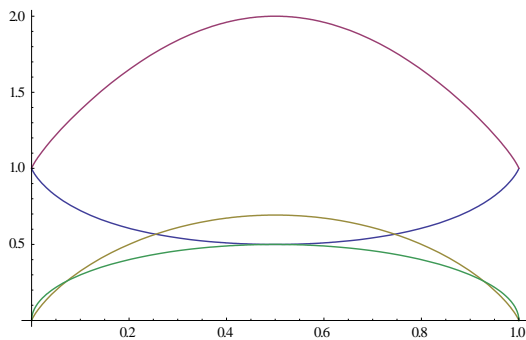
Fungsi produksi berbentuk:

$$Q_2 = N \prod_k N_k^{-p_k} \quad (25)$$

Alternatif-3. Sebagaimana diungkapkan oleh Mimkes, Frund, dan Willis (2002) fungsi produksi mengambil bentuk persis sama dengan entropi:

$$Q_3 = -\sum_k p_k \ln p_k \quad (26)$$

Ketiga alternatif masih menyisakan masalah bila diperiksa dengan teorema Euler sehubungan dengan homogenitasnya. Komparasi bentuk kura kanonik fungsi produksi Cobb-Douglas dengan tiga alternatif dimaksud dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva dengan Q sumbu tegak, dan x sumbu mendatar, untuk fungsi produksi Cobb-Douglas, $Q = x^{0.5}(1-x)^{0.5}$ dan $Q_3 = -x \ln x - (1-x) \ln(1-x)$ bersifat cembung dan keduanya mencapai maksimum pada $x = 0.5$. Sedangkan kurva fungsi produksi $Q_1 = x^x(1-x)^{(1-x)}$ bersifat cekung dengan titik minimum pada $x = 0.5$, dan fungsi produksi $Q_2 = x^{-x}(1-x)^{-(1-x)}$ bersifat cembung dengan titik maksimum pada $x = 0.5$.

IV. KESIMPULAN

Telah ditelusur ulang formulasi fungsi produksi yang merupakan output bagi suatu unit produksi sebagai fungsi dari sejumlah faktor input seperti tenaga kerja, modal, teknologi, informasi dll. Kurva kanonik yang paling mendekati fungsi produksi Cobb-Douglas adalah kurva entropi yang dinyatakan oleh $S = -\sum_k p_k \ln p_k$, seperti yang telah dibahas oleh Mimkes, Frund, dan Willis (2002). Tetapi masih memerlukan telaah lebih lanjut sehubungan dengan masalah homogenitas menurut teorema Euler dan spesifikasi derajat 'returns to scales' sebagai kendali pada persentase kenaikan input terhadap kenaikan output.

Apabila fungsi produksi Q sudah diformulasi, maka produk sebanyak Q yang dijual ke sejumlah agen dengan harga R akan memberi laba sebesar $\pi(K, N) = R(Q) \cdot Q(K, N) - wN - hK$. Jelas untuk memaksimalkan laba tersebut, yaitu mencari selisih terbesar antar nilai jual (suku pertama ruas kanan) terhadap ongkos produksi (suku kedua dan ketiga pada ruas kanan) memerlukan bentuk fungsi $R(Q)$ lewat survey permintaan pasar, dan $Q(K, N)$ melalui telaah seperti yang telah dilakukan oleh C.W. Cobb dan

P.H. Douglas pada tahun 1928, dan selanjutnya melalui telaahan termodinamika statistik yang memberikan basis stokastik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berhutang budi kepada berbagai pihak yang telah membantu terlaksananya telaahan ini, terutama kepada kelompok diskusi ekonomi lingkungan, kelompok diskusi kebolehjadian dan ketidakpastian proses alam, kelompok studi analisis sistem dan pemodelan, dan kepada Dr Paharuddin yang telah membantu dalam pekerjaan numerik.

REFERENSI

- [1] Annala, A., Salthe, S., *Economies Evolve by Energy Dispersal*, www.mdpi.com/journal/entropy, Entropy, 11, 606-633; ISSN 1099-4300, Open Access, 2009.
- [2] Banerjee, A., and Yakovenko, V.M., *Universal patterns of inequality*, New Journal of Physics 12 (2010) 075032 (25pp), Online at <http://www.njp.org/>, 2010.
- [3] Brown, M., *On the Theory and Measurement of Technological Change*, The Syndics of the Cambridge University Press, pp. 31-37, 1968.
- [4] Chatterjee, A., and Chakrabarti, B.K., *Kinetic exchange models for income and wealth distributions*, The European Physical Journal B 60, 135-149, 2007.
- [5] Mimkes, J., *Society as a Many Particle System*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Volume 60, Issue 3, pp.1055-1069, 2000.
- [6] Mimkes, J., Fründ, Th., and G. Willis, *Lagrange statistics in systems/ markets with price constraints: Analysis of property, car sales, marriage and job markets by Boltzmann distribution and Cobb Douglas function*, Statistical Mechanics (cond-mat.stat-mech); General Finance, arXiv:cond-mat/0204234, 2002.
- [7] Mimkes, J., *Concept of Thermodynamics in Economic Systems*, Physics Department, University of Paderborn, Germany, unpublished, 2003.
- [8] Mimkes, J. *A Thermodynamic Formulation of Economics*. Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives. Bikas K. Chakrabarti, Anirban Chakraborti, Arnab Chatterjee (Eds.). WILEY-VCH

- Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2006.
- [9] Noorman, Klaas-Jan, Exploring Futures from an Energy Perspective: a Natural Capital Accounting model study into the long term economic development potential of the Netherlands, RijksUniversiteit Groningen, Disertation, ISBN 90-367-0540-1, 1995.
- [10] Saslow, W.M. *An economic analogy to thermodynamics*. Am. J. Physics, 67-121. December 1999.
- [11] Suriamihardja, D.A., *Analogi Hukum Termodinamika Dalam Interaksi Ekonomi dan Lingkungan*, Konferensi BKPSL, 6-8 Agustus, Manado, 2008.
- [12] Suriamihardja, D.A., *Understanding Economic Sustainability From Thermodynamic Viewpoint*, International Conference on Sciences, 19-20 November, Hasanuddin University, Makassar, 2014.
- [13] Tishin, A.M. and Baklitskaya, O.B., *Econothermodynamics, or the world economy "thermal death" paradox*, http://istina.msu.ru/media/publications/article/7dc/ad8/964509/Tishin_and_Baklitskaya_lanl_2008.pdf.
- [14] Yakovenko, V.M., *Econophysics, Statistical Mechanics Approach to*, Econophysics Forum <http://www.unifr.ch/econophysics/> Department of Physics, University of Maryland, College Park, Maryland 20742-4111, USA, 2008.

Penelusuran Metrik Medan Gravitasi Simetri Sumbu dan Berotasi Stasioner Melalui Persamaan Ernst

Bansawang BJ*

Laboratorium Fisika Teori dan Komputasi Jurusan, FMIPA Unhas

*Email: bansawang@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam tulisan ini dipelajari solusi medan gravitasi simetri sumbu dan berotasi stasioner dalam relativitas umum dengan menggunakan persamaan Ernst. Selanjutnya solusi yang telah diperoleh ditransformasi dengan menggunakan koordinat Boyer-Lindquist untuk mereduksi menjadi solusi standar yang telah diketahui yakni metrik Kerr.

Kata Kunci: Medan gravitasi, persamaan Ernst, rotasi stasioner

I. PENDAHULUAN

Salah satu tema utama dalam perkembangan fisika sejak era Einstein sampai saat ini adalah hasrat para fisikawan teoritik untuk menyatukan gaya-gaya fundamental alam semesta. Oleh karena itu teori relativitas umum Einstein menjadi topik penting dalam fisika teori sebab mempunyai implikasi pada fisika partikel maupun pada teori medan.

Persamaan medan gravitasi Einstein merupakan persamaan diferensial parsial yang sangat tidak linear, namun solusi eksak maupun non-eksaknya telah banyak diperoleh. dari berbagai sistem fisis dengan berbagai metode pula. Metode Ernst, F.J [1][2] yang mengubah persamaan Einstein menjadi persamaan diferensial biasa linear Euclidean tiga dimensi untuk menyelesaikan sistem benda statik maupun berotasi yang memiliki simetri sumbu seperti pada [3][4][5][6].

Tulisan ini bertujuan mencari metrik benda simetri aksial berotasi stasioner dengan metode Ernst. Selanjutnya hasil yang diperoleh akan ditunjukkan ekuivalen dengan solusi standar yang telah diketahui, yaitu metrik Kerr. Adapun dalam tulisan ini terdiri atas beberapa bagian, yakni pendahuluan, perumusan persamaan gravitasi Einstein melalui analisa tensor dan integral aksi untuk medan gravitasi, solusi persamaan Einstein dengan metode Ernst untuk benda simetri aksial statik, bagian akhir berisi kesimpulan.

II. PERSAMAAN EINSTEIN DALAM RELATIVITAS UMUM

Persamaan Einstein dalam relativitas umum dapat diturunkan dari prinsip aksi dengan rapat Lagrangian Einstein-Hilbert⁽¹⁾:

$$I = \int_{\Omega} \sqrt{-g} (R - 2KL_M) d^4x \quad (1)$$

maka diperoleh:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = K T_{\mu\nu} \quad (2)$$

dimana $G_{\mu\nu}$ adalah tensor Einstein, $R_{\mu\nu}$ adalah tensor Ricci, R adalah kelengkungan skalar Ricci yang diungkapkan sebagai $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$, $g_{\mu\nu}$ adalah tensor metrik dan $T_{\mu\nu}$ adalah tensor energi-momentum sedangkan

$$K = \frac{8\pi G}{c^4}.$$

Untuk menghitung tensor $G_{\mu\nu}$ dalam bentuk komponen-komponen tensor metrik maka terlebih dahulu dihitung lambang Christoffel, yakni:

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\rho} = \frac{1}{2} g^{\rho\gamma} \left[\frac{\partial g_{\mu\gamma}}{\partial x^{\nu}} + \frac{\partial g_{\nu\gamma}}{\partial x^{\mu}} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\gamma}} \right] \quad (3)$$

Kemudian menghitung elemen-elemen tensor Ricci, yakni:

$$R_{\mu\nu} = \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\rho}}{\partial x^{\rho}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\rho}^{\nu}}{\partial x^{\rho}} + \Gamma_{\mu\nu}^{\sigma} \Gamma_{\rho\sigma}^{\rho} - \Gamma_{\mu\rho}^{\sigma} \Gamma_{\nu\sigma}^{\rho} \quad (4)$$

Dan skalar Ricci $R = R^{\mu}_{\mu} = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$. Bila ada medan luar selain medan gravitasi, maka tensor energi-momentum $T_{\mu\nu}$ dapat dihitung dari rapat Lagrangian medan luar melalui persamaan:

$$T_{\mu\nu} = \frac{2}{\sqrt{-g}} \left\{ \frac{\partial(\sqrt{-g} \mathbf{L}_M)}{\partial g^{\mu\nu}} - \frac{\partial}{\partial x^{\alpha}} \left[\frac{\partial(\sqrt{-g} \mathbf{L}_M)}{\partial g^{\mu\nu}_{,\alpha}} \right] \right\} \quad (5)$$

Dari hitungan tensor $G_{\mu\nu}$ akan tampak merupakan persamaan diferensial parsial yang sangat tidak linear sehingga kadang-kadang diambil *trace* dari persamaan Einstein dengan mengontraksikan sehingga:

$$R_{\mu\nu} = K [T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} T g_{\mu\nu}] \quad (6)$$

III. ELEMEN GARIS SIMETRI SUMBU DAN BEROTASI STASIONER

Secara klasik simetri rotasi stasioner yang diturunkan dari rapat Lagrangian yang tidak bergantung pada waktu t dan koordinat azimuth ϕ , berarti metrik yang diturunkan dari simetri sumbu adalah medan stasioner yang tidak bergantung pada waktu t dan koordinat azimuth ϕ . Elemen garis simetri sumbu stasioner yang paling umum berbentuk:

$$ds^2 = U dt^2 - 2W dt d\phi - e^\mu (dx^1)^2 - e^\nu (dx^2)^2 - V d\phi^2 \quad (7)$$

dimana U, V, μ, ν dan W adalah fungsi dari koordinat asimtotik *rupa-ruang* x^1 dan x^2 .

Selanjutnya Papapetrou mengungkap-kan fungsi U, V, μ, ν dan W dalam bentuk dua potensial f dan ω yang baru, yakni:

$$\left. \begin{aligned} U &= f \\ V &= f^{-1} \rho^2 - \omega^2 f \\ W &= \omega f \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

maka $\rho^2 = (UV + W^2)$ sehingga elemen garis persamaan (7) dalam potensial f dan ω dan dinyatakan dalam koordinat selinder (ρ, z, ϕ) dalam bentuk:

$$ds^2 = f(dt - \omega d\phi)^2 - f^{-1}[e^{2\gamma} \otimes (d\rho^2 + dz^2) + \rho^2 d\phi^2] \quad (9)$$

dimana f, ω dan γ adalah hanya fungsi dari z dan ρ .

Penyelesaian persamaan Einstein yang merepresentasikan medan gravitasi massa berotasi pertama kali ditemukan oleh *Kerr*. Sebagai akibat dari rotasi benda, maka benda akan mengalami penyimpangan kecil dari bentuk simetri bola sejauh benda berotasi lambat, yang dalam hal ini hanya memiliki simetri sumbu.

Metrik Kerr dalam koordinat Boyer-Linquist adalah:

$$ds^2 = -\frac{\Delta - a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma} dt^2 - 2a \sin^2 \theta \otimes \frac{\rho^2 + a^2 - \Delta}{\Sigma} dt d\phi + [\frac{(\rho^2 + a^2)^2 - \Delta a^2 \sin^2 \theta}{\Sigma}] \sin^2 \theta d\phi^2 + \frac{\Sigma}{\Delta} d\rho^2 + \Sigma d\theta^2 \quad (10)$$

dengan

$$\Delta = \rho^2 - 2M\rho + a^2, \quad \Sigma = \rho^2 + a^2 \cos^2 \theta \quad (11)$$

IV. PERSAMAAN ERNST

Rapat Lagrangian yang diasosiasikan oleh elemen garis dS simetri sumbu ruang waktu stasioner yang dinyatakan dalam koordinat selinder (ρ, z, ϕ, t) seperti yang dikemukakan oleh Ernst, yakni:

$$L = -\frac{1}{2} \rho f^{-2} \nabla f \cdot \nabla f + \frac{1}{2} \rho^{-1} f^2 \nabla \omega \cdot \nabla \omega \quad (12)$$

Variasi terhadap fungsi f dan ω dengan menggunakan persamaan Euler-Lagrange:

$$\frac{\partial L}{\partial f} - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{f}} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{f}'} \right) = 0 \quad (13)$$

Maka diperoleh dua persamaan medan yang berkaitan dengan variasi terhadap fungsi f dan ω masing-masing adalah:

$$\rho f^{-3} \nabla f \cdot \nabla f + \rho^{-1} f \nabla \omega \cdot \nabla \omega - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(-\rho f^{-2} \nabla f \right) = 0 \quad (14)$$

$$\nabla \cdot (\rho^{-2} f^2 \nabla \omega) = 0 \quad (15)$$

Menurut teori vektor bahwa persamaan (15) di atas mempunyai implikasi akan adanya potensial vektor \mathbf{A} sedemikian sehingga:

$$\rho^{-2} f^2 \nabla \omega = \nabla \times \mathbf{A} \quad (16)$$

Karena $\nabla \omega$ ortogonal terhadap arah azimuth \hat{n} yakni $\nabla \omega \cdot \hat{n} = 0$ sehingga diperoleh syarat aksial:

$$(\nabla \times \mathbf{A}) \cdot \hat{n} = 0 \quad (17)$$

Selanjutnya curl \mathbf{A} dalam koordinat selinder adalah:

$$\nabla \times \mathbf{A} = \hat{\rho} \left\{ \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial A_z}{\partial \phi} - \frac{\partial (\rho A_\phi)}{\partial z} \right) \right\} + \hat{z} \left\{ \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial (\rho A_\phi)}{\partial \rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial \phi} \right) \right\} + \hat{\phi} \left\{ \frac{\partial A_z}{\partial \rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial z} \right\} \quad (18)$$

Dan karena persamaan (17) juga memberikan sangkutan $(\nabla \times \mathbf{A}) \cdot \hat{\phi} = 0$ maka $\frac{\partial A_z}{\partial \rho} = \frac{\partial A_\rho}{\partial z}$ sehingga memberikan implikasi atas keberadaan sebuah fungsi skalar $K(\rho, z, \phi)$ sedemikian sehingga $A_\rho = \frac{\partial K}{\partial \rho}$; $A_z = \frac{\partial K}{\partial z}$ dan karena itu persamaan (18) menjadi:

$$\nabla \times \mathbf{A} = \hat{\rho} \left\{ \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial^2 K}{\partial \phi \partial z} - \frac{\partial (\rho A_\phi)}{\partial z} \right] \right\} + \hat{z} \left\{ \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial (\rho A_\phi)}{\partial \rho} - \frac{\partial^2 K}{\partial \phi \partial \rho} \right] \right\} \quad (19)$$

Dengan memperkenalkan potensial baru yang didefinisikan sebagai $\Phi \equiv \frac{\partial K}{\partial \phi} - \rho A_\phi$, maka persamaaan (18) dapat ditulis menjadi:

$$\nabla \times \mathbf{A} = \rho^{-1} \left(\hat{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \hat{z} \frac{\partial \Phi}{\partial \rho} \right) = \rho^{-1} \hat{n} \times \nabla \Phi \quad (20)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (20) ke dalam persamaan (16) maka diperoleh:

$$\nabla \omega = \rho f^{-2} \hat{n} \times \nabla \Phi \quad (21)$$

dan jika dinyatakan dalam bentuk vektor produk, yakni:

$$f^{-2} \nabla \Phi = -\rho^{-1} \hat{n} \times \nabla \omega \quad (22)$$

Karena $\nabla \cdot (\rho^{-1} \hat{n} \times \nabla \omega) = 0$ yang merupakan vektor aksial, maka akhirnya diperoleh persamaan:

$$\nabla \cdot (f^{-2} \nabla \Phi) = 0 \quad (23)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusi persamaan (21) ke dalam persamaan (14), maka:

$$f \nabla^2 f = \nabla f \cdot \nabla f - \nabla \Phi \cdot \nabla \Phi \quad (24)$$

Dari persamaan (23) dan (24) dapat dimasukkan sebuah medan potensial kompleks, yaitu:

$$\mathbf{E} = f + i\Phi \quad (25)$$

Dengan menggunakan persamaan (23), (24) dan (25) dapat ditunjukkan bahwa:

$$(\text{Re} \mathbf{E}) \nabla^2 \mathbf{E} = \nabla \mathbf{E} \cdot \nabla \mathbf{E} \quad (26)$$

Dalam medan potensial f dan Φ , persamaan (26) sama dengan persamaan (14) dan (15) yang merupakan hasil reduksi persamaan medan gravitasi Einstein simetri sumbu yang diperoleh melalui rapat Lagrangian pada persamaan (12). Dengan melakukan transformasi potensial kompleks yang didefinisikan sebagai $\mathbf{E} = \frac{\xi - 1}{\xi + 1}$

, maka persamaan (26) dapat dinyatakan dalam bentuk potensial kompleks ξ yang dikenal sebagai persamaan Ernst, yakni:

$$(\xi \tilde{\xi} - 1) \nabla^2 \xi = 2 \xi \tilde{\nabla} \xi \cdot \tilde{\nabla} \xi \quad (27)$$

Berikutnya menyatakan fungsi metrik f , ω dan γ dalam bentuk potensial kompleks ξ yang baru dengan menggunakan persamaan (14), (15), (21) dan (25) sebagai berikut:

$$f = \text{Re}(E) = \frac{\xi \tilde{\xi} - 1}{(\xi + 1)(\tilde{\xi} + 1)} \quad (28)$$

$$\nabla \omega = \frac{2\rho}{(\xi \tilde{\xi} - 1)^2} \text{Im} \left[(\tilde{\xi} + 1)^2 \hat{n} \times \nabla \xi \right] \quad (29)$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \rho} = \frac{\rho}{(\xi \tilde{\xi} - 1)^2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial \rho} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial \rho} - \frac{\partial \xi}{\partial z} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial z} \right) \quad (30)$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial z} = \frac{2\rho}{(\xi \tilde{\xi} - 1)^2} \text{Re} \left(\frac{\partial \xi}{\partial \rho} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial z} \right) \quad (31)$$

Dengan menggunakan koordinat *prolate spheroidal* yang didefinisikan oleh:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= k(x^2 - 1)^{\frac{1}{2}}(1 - y^2)^{\frac{1}{2}} \\ z &= kxy \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

Dimana k adalah konstanta positif. Dalam sistem koordinat *prolate spheroidal* tersebut, operator Laplace adalah:

$$\nabla^2 = \frac{k}{(x^2 - y^2)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (x^2 - 1) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (1 - y^2) \frac{\partial}{\partial y} \right\} \quad (33)$$

Sedang persamaan (30) dan (31) dalam sistem koordinat *prolate spheroidal* adalah:

$$\frac{\partial \gamma}{\partial x} = \frac{(1 - y^2)}{(\xi \tilde{\xi} - 1)^2 (x^2 - y^2)} \left\{ x(x^2 - 1) \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial x} - x(1 - y^2) \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial y} - y(x^2 - 1) \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right\} \quad (34)$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial y} = \frac{(x^2 - 1)}{(\xi \tilde{\xi} - 1)^2 (x^2 - y^2)} \left\{ y(x^2 - 1) \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial x} - y(1 - y^2) \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial y} - x(1 - y^2) \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{\xi}}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right\} \quad (35)$$

V. SOLUSI EKSAT MEDAN GRAVITASI MASSA BEROTASI STASIONER

Solusi medan massa berotasi yang dikemukakan oleh Kerr dapat pula diperoleh dengan menggunakan formulasi persamaan Ernst dengan metode analitik standar. Ernst telah berhasil mereduksi persamaan medan gravitasi Einstein kedalam bentuk persamaan diferensial biasa seperti pada persamaan (27) dengan potensial kompleks $\xi(x, y)$ sebagai fungsi kombinasi linear dari x dan y , yakni:

$$\xi(x, y) = mx - iny \quad (36)$$

dan bergantung pada parameter $m^2 + n^2 = 1$. Untuk mendapatkan solusi eksak medan gravitasi sumbu simetri berotasi stasioner dalam koordinat *prolate spheroidal* maka fungsi metrik f , ω dan γ dalam elemen geodesik Papapetrou adalah:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{E} &= f + i\Phi = \frac{\xi - 1}{\xi + 1} \\ &= \frac{m^2 x^2 + n^2 y^2 - 1 - 2iny}{(mx + 1)^2 - n^2 y^2} \\ f &= \mathbf{Re}(\mathbf{E}) = \mathbf{Re} \frac{\xi - 1}{\xi + 1} = \frac{\xi \tilde{\xi} - 1}{(\xi + 1)(\tilde{\xi} + 1)} \\ &= \frac{m^2 x^2 + n^2 y^2 - 1}{(mx + 1)^2 - n^2 y^2} \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

Selanjutnya untuk menghitung ω digunakan gradien dalam koordinat *prolate spheroidal* pada persamaan (29), (32) dan (36), maka:

$$\begin{aligned} \nabla \omega &= \frac{2\rho}{(\xi \tilde{\xi} - 1)^2} \text{Im} \left[(\tilde{\xi} + 1)^2 \hat{n} \times \nabla \xi \right] = \\ &= \frac{2k(x^2 - 1)^{\frac{1}{2}}(1 - y^2)^{\frac{1}{2}}}{(m^2 x^2 + n^2 y^2 - 1)^2} \text{Im} \{ [m^2 x^2 - n^2 y^2 + \\ &\quad 2mx + 1 + 2in(1 + mx)] [km(x^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \otimes \\ &\quad (x^2 - y^2)^{-\frac{1}{2}} \hat{y} + i kn(1 - y^2)^{\frac{1}{2}} (x^2 - y^2)^{-\frac{1}{2}} \hat{x}] \} \end{aligned} \quad (38)$$

Dengan meninjau komponen ke arah sumbu- x maka dari persamaan (32) maka persamaan (38) menjadi:

$$\begin{aligned} \hat{x} \frac{(x^2 - 1)^{\frac{1}{2}}}{(x^2 - y^2)^{\frac{1}{2}}} \frac{\partial \omega}{\partial x} &= \frac{2k(x^2 - 1)^{\frac{1}{2}}(1 - y^2)^{\frac{1}{2}}}{(m^2 x^2 + n^2 y^2 - 1)^2} \otimes \\ &\text{Im} \{ [m^2 x^2 - n^2 y^2 + 2mx + 1 + in(1 + mx)] \otimes \\ &\quad [in(1 - y^2)^{\frac{1}{2}} (x^2 - y^2)^{-\frac{1}{2}} \hat{x}] \} \end{aligned} \quad (39)$$

atau

$$\frac{\partial \omega}{\partial x} = 2kn(1-y^2) \otimes \frac{[m^2x^2 - n^2y^2 + 2mx + 1]}{(m^2x^2 + n^2y^2 - 1)^2} \quad (40)$$

dimana suku imajiner dalam kurung siku pada ruas kanan persamaan (39) telah diabaikan karena yang ditinjau adalah bagian imajiner bagi komponen ω .

Dengan menamakan $U = mx + 1$ dan misalkan pula $k = m$, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \omega &= 2n(1-y^2) \\ &\otimes \int (U^2 - 2U + n^2y^2)^{-2} U^2 - n^2y^2)^2 dU \\ &= -\frac{2n(1-y^2)(mx+1)}{(m^2x^2 + n^2y^2 - 1)} \end{aligned} \quad (41)$$

Berikutnya untuk fungsi medan γ dapat diperoleh melalui persamaan (34) dengan potensial kompleks $\xi(x, y)$ pada persamaan (36), yakni:

$$\frac{\partial \gamma}{\partial x} = \frac{(1-y^2)}{(m^2x^2 + n^2y^2 - 1)^2 (x^2 - y^2)} \left\{ x(x^2 - 1)m^2 - x(1-y^2)n^2 \right\} \quad (42)$$

Dengan menamakan $W \equiv m^2x^2 + n^2y^2 - 1$ dan mereduksi variabel x serta mengambil $m^2 + n^2 = 1$ maka setelah diintegalkan, akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \gamma &= \int \frac{(1-y^2)dW}{2W^2 + 2W(1-y^2)} = (1-y^2) \otimes \\ &\left\{ \frac{1}{\sqrt{4(1-y^2)}} \log \left| \frac{4W + 2(1-y^2) - \sqrt{4(1-y^2)^2}}{4W + 2(1-y^2) + \sqrt{4(1-y^2)^2}} \right| \right\} \end{aligned} \quad (43)$$

Atau setelah dimasukkan kembali nilai W maka fungsi medan γ adalah:

$$\exp(2\gamma) = \frac{m^2x^2 + n^2y^2 - 1}{m^2x^2 + (n^2 - 1)y^2} \quad (44)$$

Dengan demikian dari komponen-komponen medan f , ω dan γ yang telah diperoleh disubstitusi ke dalam metrik Papapetrou pada persamaan (8) dalam koordinat *prolate spheroidal* adalah:

$$\begin{aligned} ds^2 &= \frac{[m^2x^2 + n^2y^2 - 1]}{[(mx+1)^2 - n^2y^2]} dt^2 \\ &- \frac{[4n(1-y^2)(mx+1)]}{[(mx+1)^2 - n^2y^2]} dt d\phi + \\ &\frac{[4n^2(1-y^2)^2(mx+1)^2]}{[(mx+1)^2 - n^2y^2][m^2x^2 + n^2y^2 - 1]} d\phi^2 \\ &- k^2 \left\{ \frac{(mx+1)^2 + n^2y^2}{m^2} \otimes \left(\frac{dx^2}{x^2 - 1} + \frac{dy^2}{1 - y^2} \right) \right. \\ &\left. + \frac{[(mx+1)^2 + n^2y^2]}{[m^2x^2 + n^2y^2 - 1]} (x^2 - 1)(1 - y^2) d\phi^2 \right\} \end{aligned} \quad (45)$$

Untuk menunjukkan bahwa persamaan (45) ekuivalen dengan solusi Kerr pada persamaan (10) dilakukan dengan transformasi koordinat Boyer-Lindsquit, yaitu:

$$\left. \begin{aligned} mx + 1 &= \frac{r}{M}, \quad ny = \frac{a}{M} \cos \theta, \quad \phi' = \phi, \quad t' = t \\ \text{dengan} \\ m &= \frac{k}{M}, \quad n = \frac{a}{M}, \quad k = (M^2 - a^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

Dan hasil ini dapat dimasukkan ke dalam bentuk kanonik Papapetrou persamaan (9) oleh transformasi koordinat persamaan (32), yakni:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= (r^2 + a^2 - 2Mr)^{\frac{1}{2}} \sin \theta \\ z &= (r - m) \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

VI. KESIMPULAN

Persamaan medan gravitasi kovarian dalam relativitas umum yang diperoleh melalui variasi aksi, meskipun merupakan persamaan diferensial parsial yang sangat tidak linear namun dapat diformulasi ulang menjadi persamaan diferensial biasa (PDB) sehingga lebih mudah mendapatkan solusinya.

Solusi Kerr sebagai salah satu solusi persamaan Einstein untuk benda berotasi stasioner dapat pula diperoleh melalui persamaan Ernst atau ekuivalen dengan solusi yang diperoleh dalam koordinat Boyer-Lindsquit. Selanjutnya keadaan rotasi benda perlu diperhatikan pengaruhnya terhadap medan gravitasi materi.

REFERENSI

- [1] F.J. Ernst, 1968; Physical Review, Vol. 167, No. 6
- [2] M. Carmeli, 1982, “ Classical Field: *General Relativity and Gauge Theory*, John Wiley & Sons Inc., New York
- [3] O.Tanimura, S. Hori, 1998; Progress of Theoretical Physics, Vol.99, No.5.
- [4] T. Tsuchida, 1999; Progress of Theoretical Physics, Vol.101, No.1.
- [5] Charmousis, C, 2007; arXiv:0710.0472 v1 [gr-qc]
- [6] Frutos-Alfaro, F, Montero-Camacho, P, Araya-Arguedas, M, Bonatti-Gonzales, J, 2015; arXiv: 1405.1776v3 [astro-ph.CO]

Solusi Persamaan Adveksi Difusi Koordinat Kartesius Tanpa Sumber Menggunakan Metode Elemen Hingga Galerkin

Eko Juarlin*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin

*Email: eko_juarlin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Persamaan diferensial adveksi difusi dengan menggunakan koordinat Kartesius dan tanpa sumber dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga Galerkin. Hasil dijelaskan menurut keadaan, yaitu: keadaan tunak dan keadaan transien. Dalam keadaan tunak, bilangan Peclet dan kesalahan hasil numerik dikaji. Dalam keadaan transien, distribusi hasil, kekekalan konsentrasi dan osilasi konsentrasi dipelajari.

Kata Kunci: Adveksi, Bilangan Peclet, Difusi, Kekekalan Konsentrasi, Kesalahan Numerik, Metode Elemen Hingga Galerkin, Osilasi Konsentrasi

I. PENDAHULUAN

Aktivitas manusia dari skala kecil rumah tangga sampai skala besar industri menghasilkan limbah yang sebagiannya berupa limbah cair. Limbah cair dibuang ke sungai atau danau mengakibatkan polusi air yang berupa zat terlarut dan endapan di sungai atau danau tersebut. Polusi air menjadi masalah besar di banyak negara [1]. Setiap tahun, sekitar 25 juta orang wafat akibat polusi air. Pengembangan model untuk memprediksi dan mengontrol polusi air adalah hal menarik untuk dipelajari [2].

Persamaan adveksi difusi bisa digunakan untuk mendeskripsikan dinamika massa zat terlarut [3]. Selain itu, persamaan tersebut telah digunakan di masalah kimia dan teknik seperti polusi termal di sungai, aliran di media berpori, dispersi material tak terlarut di danau dan sungai, sebaran polutan di sungai dan danau.

Penelitian di makalah ini menggunakan koordinat Kartesius, tanpa sumber dan metode elemen hingga. Titik awal penelitian ini adalah persamaan adveksi difusi dimensi satu untuk keadaan tunak dan keadaan transien. Persamaan adveksi difusi diselesaikan menggunakan metode elemen hingga untuk mendapatkan matriks lokal elemen. Matriks lokal elemen dimasukkan ke dalam matriks global sistem. Solusi matriks global sistem dengan menggunakan substitusi balik untuk kondisi tunak dan metode invers untuk kondisi transien. Khusus keadaan transien, diskritisasi waktu menggunakan metode beda hingga. Semua satuan yang digunakan dalam riset ini adalah satuan internasional.

II. ADVEKSI DIFUSI

Konsentrasi polutan dalam air dapat bergerak karena peristiwa adveksi dan peristiwa difusi. Adveksi terjadi karena adanya kecepatan aliran air yang menggerakkan zat terlarut polutan dan difusi terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi zat terlarut dalam air.

Gabungan peristiwa adveksi difusi menghasilkan persamaan diferensial adveksi difusi, yaitu:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} = Q \quad (1)$$

Q adalah suku sumber, U adalah kecepatan konveksi dan D adalah difusivitas, C adalah konsentrasi. Ketika zat masih bergerak terhadap waktu atau disebut keadaan transien. persamaan 1 termasuk suku waktu digunakan untuk menentukan konsentrasi. Zat yang tidak bergerak terhadap waktu disebut keadaan tunak. Di keadaan tunak, suku $\frac{\partial C}{\partial t}$ di persamaan 1 tidak digunakan.

III. METODE ELEMEN HINGGA

Daerah asal dimensi satu dibagi menjadi N elemen. Di masing-masing elemen, untuk keadaan transien dibuat fungsi aproksimasi:

$$C(x, t) = T(t) \left(\frac{x_j - x}{x_j - x_i} C_i + \frac{x - x_i}{x_j - x_i} C_j \right) \quad (2)$$

Fungsi aproksimasi di persamaan 4 disubstitusikan ke persamaan 1, lalu mengalikannya dengan fungsi aproksimasi, lalu mengintegrasikan sepanjang daerah asal, yang menghasilkan persamaan matriks: [4]

$$[M] \frac{\Delta\{C\}}{\Delta t} = -[E]\{C\} - [K_1]\{C\} - [K_2]\{C\} + [f_1]\{C\} + [f_2]\{C\} \quad (3)$$

$[M] = \frac{l}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$ disebut matriks massa. $[E] = \frac{U}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$ disebut matriks konveksi elemental. $[K_1] = \frac{D}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ disebut matriks difusi elemental. $[K_2] = \frac{U^2 \Delta t}{2l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$ disebut matriks stabilisasi. $[f_1] = \frac{D}{l} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ disebut matriks gaya berkaitan dengan suku difusi. $[f_2] = \frac{U^2 \Delta t}{2l} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ disebut matriks gaya berkaitan dengan suku stabilisasi. $\{C\} = \begin{bmatrix} C_i \\ C_j \end{bmatrix}$ adalah matriks kolom konsentrasi.

Diskritisasi waktu menggunakan metode beda hingga sehingga $\frac{\Delta\{C\}}{\Delta t} = \begin{bmatrix} \frac{C^{n+1}_i - C^n_i}{\Delta t} \\ \frac{C^{n+1}_j - C^n_j}{\Delta t} \end{bmatrix}$. Penerapan vektor turunan waktu menghasilkan besaran baru θ . Dengan memasukkan variabel θ , persamaan 2 berubah menjadi persamaan matriks: [4]

$$([M] + \Delta t \theta ([E] + [K] - [f])) \{C\}^{n+1} = ([M] - \Delta t ((1 - \theta)(-[E] + [K] - [f]))) \{C\}^n \quad (4)$$

dengan $[K] = [K_1] + [K_2]$ dan $[f] = [f_1] + [f_2]$.

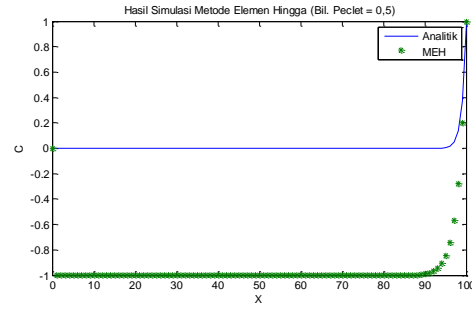
Ada dua parameter yang digunakan untuk menunjukkan kebenaran program simulasi, yaitu kestabilan dan keakuratan. Simulasi keadaan tunak menggunakan metode elemen hingga stabil jika nilai bilangan Peclet sama dengan satu. Rumus bilangan Peclet adalah: [4]

$$P_N = \frac{Uh}{2D} \quad (5)$$

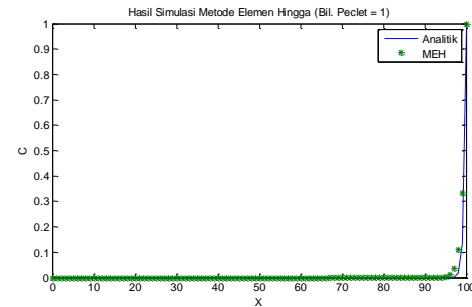
Penghalusan meningkatkan keakuratan [5]. Penghalusan h adalah penghalusan dengan menambahkan elemen untuk meningkatkan keakuratan hasil simulasi.

IV. HASIL SIMULASI KEADAAN TUNAK

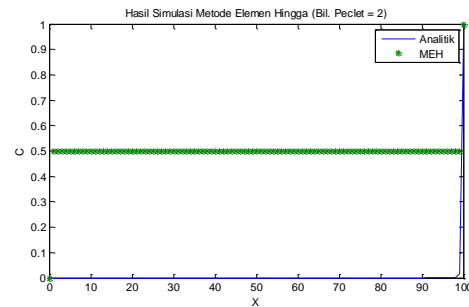
Dalam solusi keadaan tunak, ada dua hal yang dibahas, yaitu pengaruh bilangan Peclet terhadap kesalahan numerik dan pengaruh penghalusan h terhadap rata-rata deviasi. Dalam keadaan tunak, diambil daerah asal $0 < x < 100$, nilai bilangan Peclet 0,5, 1 dan 2 dan syarat batas konsentrasi di $x=0$ bernilai 0, di $x = 100$ bernilai 1.



Gambar 1. Hasil Simulasi untuk Bilangan Peclet = 0,5



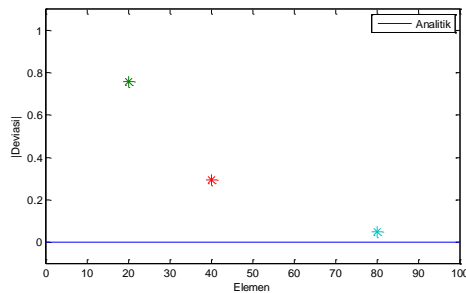
Gambar 2. Hasil Simulasi untuk Bilangan Peclet = 1



Gambar 3. Hasil Simulasi untuk Bilangan Peclet = 2

Dari gambar 1, gambar 2 dan gambar 3, bilangan Peclet menentukan kesalahan numerik. Hasil simulasi memiliki kesalahan numerik terkecil untuk bilangan Peclet sama dengan 1. Hasil ini sesuai dengan referensi 4. Selain itu juga, kondisi matriks persamaan 6 adalah kondisi paling sehat diantara kondisi matriks di kedua bilangan Peclet lainnya.

Penghalusan h dilakukan dengan menambahkan jumlah titik diskritisasi. Deviasi di semua titik diskritisasi pada elemen paling sedikit selalu dihitung pada titik yang sama pada jumlah elemen yang lebih banyak untuk menghitung keakuratannya. Ada 20, 40, dan 80 elemen digunakan.



Gambar 4. Rata-rata Deviasi Hasil Numerik terhadap Hasil Analitik untuk Variasi Jumlah Elemen

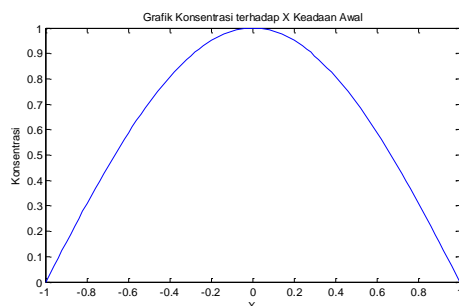
Gambar 4 menginformasikan bahwa semakin banyak jumlah elemen, deviasi semakin kecil. Hasil ini sesuai dengan referensi 5.

Solusi analitik yang dipilih untuk persamaan 1 tanpa sumber keadaan tunak adalah:

$$C(x) = \frac{1 - e^{-\frac{Ux}{D}}}{1 - e^{-\frac{UL}{D}}} \quad (6)$$

V. HASIL SIMULASI KEADAAN TRANSIEN

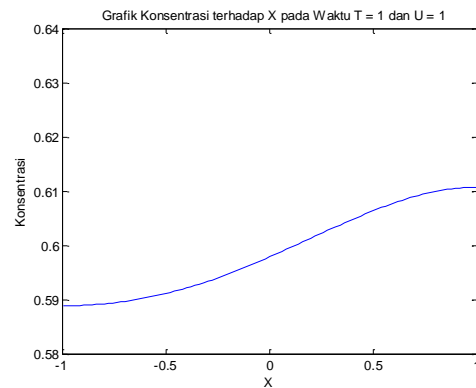
Dalam keadaan transien, syarat awal diambil seperti gambar 5 tanpa syarat batas. Perhitungan iterasi waktu menggunakan metode inversi. Besaran konsentrasi dihitung untuk waktu lebih besar dari nol dan di semua titik diskritisasi.



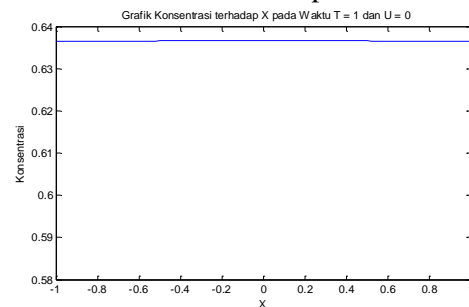
Gambar 5. Distribusi Konsentrasi Keadaan Awal

Massa total keadaan awal 1,2731 sesuai dengan luas permukaan di bawah kurva. Setelah mengalami simulasi dengan kondisi kecepatan konveksi sama dengan nol, massa total menjadi 1,2731 pada waktu satu detik seperti digambarkan dalam gambar 6. Setelah mengalami iterasi waktu sampai satu detik dengan kecepatan konveksi sama dengan satu dan negatif satu, massa total di kedua kecepatan menjadi 1,1977 dan distribusi massa digambarkan dalam gambar 7 dan gambar 8. Massa total juga berubah karena perubahan tebal elemen, yaitu pada $h = 0,005$, massa total 1,1977, pada $h = 0,01$ massa total 1,1977, pada

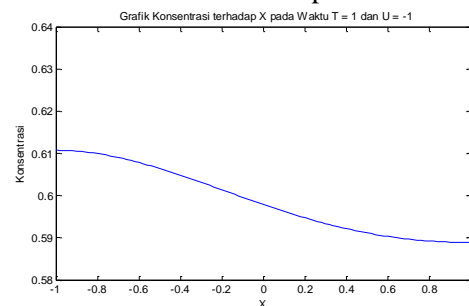
$h=0,02$ massa total 1,1976, pada $h = 0,1$ massa total 1,1951.



Gambar 6. Distribusi Massa pada T=1 dan U=1

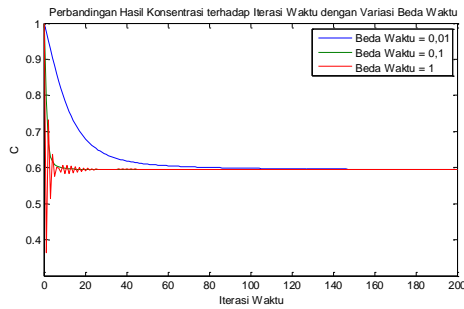


Gambar 7. Distribusi Massa pada T=1 dan U=0



Gambar 8. Distribusi Konsentrasi pada T=1 dan U=-1

Ada fenomena menarik dari hasil riset ini, yaitu kecepatan konveksi mempengaruhi kekekalan jumlah massa dalam sistem. Ketidakkekalan massa dalam sistem fisis terjadi karena program tidak menambahkan faktor refleksi di kedua batas kiri dan batas kanan sistem fisis. Selain itu juga ketidakkekalan massa dalam sistem terjadi karena nilai syarat batas Neumann tidak dimasukkan sebagai masukan program. Arah kecepatan konveksi searah dengan penumpukan konsentrasi larutan.



Gambar 9. Perbandingan Konsentrasi di Titik Tengah terhadap Iterasi Waktu

Pengaruh pemilihan beda waktu terhadap pola distribusi konsentrasi terhadap waktu di suatu titik dalam sistem digambarkan dalam gambar 9. Pemilihan beda waktu hanya mempengaruhi konsentrasi di keadaan awal simulasi. Dari ketiga beda waktu yang dipilih, tampak beda waktu yang kecil memperlambat konvergensi hasil tetapi beda waktu yang besar membuat sistem mengalami sedikit osilasi di awal simulasi. Ketiga pemilihan beda waktu tidak mengubah nilai konsentrasi di iterasi waktu sangat besar.

VI. KESIMPULAN

Riset ini bisa memproduksi program simulasi konsentrasi larutan menggunakan persamaan diferensial adveksi difusi dengan sistem koordinat Kartesius dimensi satu. Di keadaan tunak, pemilihan jumlah elemen mempengaruhi kesalahan hasil numerik terhadap hasil analitik. Di keadaan transien, pemilihan beda ketebalan mempengaruhi kekekalan konsentrasi dan pemilihan beda waktu berpengaruh pada distribusi konsentrasi di keadaan awal saja.

REFERENSI

- [1] G. Tchobanoglous, F. L. Burton. 1991. *Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd ed, Mc Grow Hill, New York.
- [2] Busayamas Pimpuchat, Winston L. Sweatman. *A Mathematical Model for Pollution in A River and Its Remediation by Aeration*. Applied Mathematical Letters (2009) 22.
- [3] B. J. Noye. 1990. Numerical Solutions of Partial Differential Equations, Lecture Notes.
- [4] Ronald W. Lewis, Perumal Nithiarasu, Kankanhally N. Seetahramu. 2004. *Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow*. John Wiley & Sons Ltd.
- [5] David V. Hutton. 2004. *Fundamentals of Finite Element Analysis*. Mc Graw Hill.

Dinamika Lubang Hitam Reissner-Nordström Dalam Kosmologi Friedman-Robertson-Walker (FRW)

Muh. Fachrul Latief^{1*}, Bansawang BJ dan Wira Bahari Nurdin

Laboratorium Fisika Teoritik dan Komputasi, Jurusan Fisika, FMIPA, UNHAS

*Email: muh.fachrul73@yahoo.co.id

ASBTRAK

Model lubang hitam bermuatan (*Reissner-Nordström*) yang berada dalam kosmologi Friedman-Robertson-Walker (FRW) untuk kasus $k = 0$. Parameter yang dicari adalah bentuk metrik Reissner-Nordström dalam kosmologi FRW dan kesesuaian dengan teorema Birkhoff serta bentuk evolusi semesta terhadap ukuran lubang hitam Reissner-Nordström. Selanjutnya akan ditinjau juga dinamika lubang hitam Reissner-Nordström yang tertanam dalam kosmologi FRW dengan menggunakan persamaan geodesik. Hasil penelusuran secara analitik memberikan bentuk persamaan differensial orde dua non-linear yang menghubungkan antara perubahan $u(r)$ terhadap ϕ (*sudut azimuth*).

Kata Kunci : Persamaan Medan Einstein, Lubang Hitam Reissner-Nordström, kosmologi FRW, geodesik

I. PENDAHULUAN

Lubang hitam telah diteliti secara mendalam dan detail selama lebih dari empat puluh tahun yang silam sejak lahirnya teori Relativitas Umum yang dipelopori oleh Albert Einstein. Namun, hampir semua penelitian sebelumnya telah difokuskan pada lubang hitam yang terisolasi. Di sisi lain, tidak dapat pula dikesampingkan situasi yang penting dan lebih realistis di mana lubang hitam benar-benar termuat dalam sebuah latar belakang alam semesta. Oleh karena itu, lubang hitam dalam sebuah latar belakang alam semesta merupakan topik yang sangat penting untuk dikaji lebih lanjut.

Perumusan mengenai lubang hitam yang tidak terisolasi dimulai oleh McVittie pada tahun 1933. McVittie menemukan metrik untuk partikel yang bermassa di dalam semesta yang mengembang. Metrik ini memberikan contoh konkret untuk sebuah lubang hitam Schwarzschild yang termuat dalam semesta Friedman-Robertson-Walker (FRW), meskipun belum ada gagasan mengenai lubang hitam pada saat itu^[7].

Selanjutnya pada tahun 1993, solusi untuk *multi-blackhole* pada latar belakang semesta deSitter ditemukan oleh Kastor dan Traschen^[8]. Solusi Kastor-Traschen menggambarkan sistem dinamis lubang hitam dari Reissner-Nordström yang ekstrim di latar belakang semesta deSitter. Metrik ini menggambarkan lubang hitam yang bergerak terhadap satu sama lain yang mengikuti lintasan alam dalam ruang-waktu semesta deSitter. Selanjutnya pada tahun 1999, Shiromizu dan Gen melanjutkan

dinamika lubang hitam Reissner-Nordstrom untuk versi yang berputar dalam semesta deSitter^[11]. Kemudian pada tahun 2000 oleh K. Nayak dan dkk. mempelajari mengenai lubang hitam Schwarzschild dan Kerr dalam semesta Einstein yang tidak datar^[9].

Namun semua keadaan tersebut tidak menggambarkan konsep realitas sekarang bahwasanya alam semesta tersebut mengembang. Di mana dalam semesta deSitter hanya menggambarkan konsep alam semesta yang vakum dan semesta Einstein menggambarkan konsep alam semesta yang stasioner. Oleh karena itu dilakukanlah penelitian oleh Chang Jun Gao dan Shuang Nan Zhang mengenai konsep yang lebih realistis di mana lubang hitam bermuatan yang termuat dalam semesta yang mengembang dan digambarkan melalui metrik Friedman-Robertson-Walker (FRW)^[5].

Penelitian yang dilakukan ini merupakan lanjutan penelitian yang dilakukan oleh Chang Jun Gao dan Shuang Nan Zhang mengenai metrik Reissner-Nordstrom dalam semesta FRW. Mereka meninjau gerak orbit planet di dalam medan Reissner-Nordstrom dalam semesta FRW yang dipengaruhi oleh evolusi alam semesta^[5]. Namun dalam penelitian ini akan dicari dinamika lubang hitam yang bermuatan dalam kasus yang sama.

II. PENURUNAN METRIK REISSNER-NORDSTRÖM DALAM KOSMOLOGI FRW

Bentuk dari metrik Reissner-Nordstrom diberikan oleh persamaan

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right) dt^2 + \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right)^{-1} (dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)) \quad (1)$$

Selanjutnya persamaan (1) ditulis ulang ke dalam koordinat bola yang isotropik. Karena dalam kasus kosmologi, seluruh materi dianggap sebagai fluida yang kontinu, homogen dan isotropik. Pernyataan ini membawa kepada kesimpulan bahwa tidak ada pengamat galaksi yang dipandang istimewa di jagad raya ini, termasuk galaksi bima sakti. Dengan kata lain, seluruh pengamat bergerak bersama galaksi dan melihat proses yang berskala besar dan sama dalam evolusi jagad raya^[10].

Dengan diasumsikan $x^0 = v$ dan $x^1 = x$ maka variabel transformasinya berdasarkan sistem koordinat koordinat Schwarzschild adalah^[5]

$$\begin{aligned} \tilde{t} &= 2v; & \tilde{s} &= 2l; \\ 2\tilde{r} &= x \left(1 + \frac{M}{x}\right)^2 - \frac{Q^2}{x^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Sehingga persamaan (1) dapat dituliskan kembali ke dalam koordinat bola isotropik, yakni

$$dl^2 = -\frac{\left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right)^2}{\left[\left(1 + \frac{M}{x}\right)^2 - \frac{Q^2}{x^2}\right]^2} dv^2 + \left[\left(1 + \frac{M}{x}\right)^2 - \frac{Q^2}{x^2}\right] (dx^2 + x^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)) \quad (3)$$

Selanjutnya, tinjau persamaan metrik Friedman-Robertson-Walker (FRW) sebagai semesta yang dianggap stabil untuk dihuni sekarang. Metrik FRW ini merupakan kuantitas fundamental di dalam kosmologi standar. Metrik FRW diberikan oleh persamaan berikut;

$$dl^2 = -dv^2 + \frac{a^2(v)}{\left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)} (dx^2 + x^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)) \quad (4)$$

Di mana $a(v)$ adalah faktor skala dari semesta dan k adalah kurva kelengkungan dari ruang dan waktu. Dengan mempertimbangkan persamaan (3) dan (4), maka terlihat ada kesamaan dari kedua metrik tersebut. Selanjutnya, diatur agar metrik lubang hitam Reissner-Nordstrom tertanam di dalam semesta FRW dengan mengambil konstanta yang berhubungan antara kedua metrik tersebut. Misalkan elemen garis baru untuk lubang hitam Reissner-Nordstrom yang tertanam dalam semesta FRW adalah^[5]

$$dl^2 = -A^2(v, x) dv^2 + B^2(v, x) [dx^2 + x^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)] \quad (5)$$

Hubungan koefisien antara $A(v, x)$ dengan $B(v, x)$ dapat diketahui dengan mencari tensor medan Einstein untuk persamaan (1.5), yakni

$$G_{01} = A(v, x) - f(v) \frac{\dot{B}}{2B} = 0 \quad (6)$$

Sedangkan nilai $B(v, x)$ dapat diketahui dengan membandingkan persamaan (3) dengan (5) yang bentuknya;

$$B(v, x) = \left[w(v, x) + \frac{q(v)}{x}\right]^2 - \frac{s(v)}{x^2} \quad (7)$$

Dengan asumsi bahwasanya massa dan muatan terkonsentrasi dalam singularitas. Artinya tidak terdapat ruang yang didistribusikan untuk massa dan muatan tersebut.

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (6), maka didapatkan nilai $A(v, x)$, yakni;

$$A(v, x) = \frac{\dot{w}f + \frac{(w\dot{q} + \dot{w}q)qf}{w^2x}}{\left(1 + \frac{q}{wx}\right)^2 - \frac{s^2}{w^2x^2}} + \frac{\frac{q\dot{q}f}{w^2x} + \frac{\dot{s}f}{2w^2x^2}}{\left(1 + \frac{q}{wx}\right)^2 - \frac{s^2}{w^2x^2}} \quad (8)$$

Untuk kasus waktu dalam kondisi yang konstan $v = \text{konstan}$ dan kondisi untuk asimtotik yang datar, maka $A(v(\text{konstan}), x)$ bias direduksi ke dalam $\sqrt{-g_{00}}$ untuk persamaan (3). Dengan demikian, kasus untuk persamaan (8) juga bisa direduksi ke dalam $\sqrt{-g_{00}}$ kemudian membandingkannya dengan persamaan metrik FRW pada persamaan (4). Sehingga didapatkan relasi di antara koefisien-koefisien tersebut, yakni;

$$\frac{\dot{w}f}{w} = 1; \quad \frac{(w\dot{q} + \dot{w}q)f}{w^2x} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{q\dot{q}f}{w^2x^2} = -\left(\frac{q}{wx}\right)^2; \quad \frac{\dot{s}f}{2w^2x^2} = -\frac{s^2}{w^2x^2}$$

Maka didapatkan;

$$\dot{w}f = w; \quad \dot{q}f = -q; \quad \dot{s}f = -2s \quad (10)$$

Dari persamaan (10) dan konsekuensi dari tereduksi ke dalam $\sqrt{-g_{00}}$ yang dibandingkan terhadap metrik FRW tersebut, maka didapat nilai dari koefisien yang memenuhi, yakni^[5];

$$w = \frac{b(v)}{\sqrt{1+\frac{kx^2}{4}}}; \quad f = \frac{b}{b}; \quad (11)$$

$$q = \frac{M}{b}; \quad S = \frac{Q^2}{b^2};$$

di mana M dan Q adalah konstanta integrasi yang berhubungan massa dan muatan dari lubang hitam, sedangkan $b(v)$ adalah fungsi acak yang berhubungan dengan faktor skala semesta.

Dengan mensubstitusi persamaan (1.7), (1.8), dan (1.11) ke dalam persamaan (1.5), maka akan didapatkan hasil akhir dari metrik dari lubang hitam Reissner-Nordstrom dalam latar belakang kosmologi FRW, yakni;

$$dl^2 = -\frac{\left[1 - \frac{M^2}{a^2x^2}\left(1 + \frac{kx^2}{4}\right) + \frac{Q^2}{a^2x^2}\left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)\right]^2}{\left[\left(1 + \frac{M}{ax}\sqrt{1 + \frac{kx^2}{4}}\right)^2 - \frac{Q^2}{a^2x^2}\left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)\right]^2} dv^2$$

$$+ \frac{a^2}{\left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)^2 \left[\left(1 + \frac{M}{ax}\sqrt{1 + \frac{kx^2}{4}}\right)^2 - \frac{Q^2}{a^2x^2}\left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)\right]^2} (dx^2 + x^2[d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2]) \quad (12)$$

di mana $a(v) = b(v)^2$ sebagai sebuah variable baru yang berhubungan dengan faktor skala kosmologi FRW yang diturunkan dari persamaan (11). Persamaan (12) di atas sangat menarik karena ketika $a(v) = konstan$, dan $k = 0$, maka persamaan (12) akan kembali ke persamaan metrik Reissner-Nordstrom seperti pada persamaan (1).

III. INTERPRETASI METRIK

Selanjutnya akan ditunjukkan bahwasanya metrik Reissner-Nordstrom yang berada dalam kosmologi FRW juga memenuhi identitas Bianchi. Artinya, metrik untuk solusi lubang hitam yang stasioner selalu bisa dibawa ke dalam metrik Schwarzschild dalam beberapa keadaan

khusus. Namun sebelum itu, perlu dituliskan ulang beberapa persamaan medan Einstein-Maxwell. Persamaan-persamaan tersebut adalah ^[3]

$$G_{\mu\nu} = 8\pi (T_{\mu\nu} + E_{\mu\nu})$$

$$F_{\mu\nu} = A_{\mu;\nu} - A_{\nu;\mu} \quad (13)$$

$$F_{;\nu}^{\mu\nu} = 0$$

yang di mana $T_{\mu\nu}$ dan $E_{\mu\nu}$ adalah tensor energi memontum untuk fluida ideal dan medan elektromagnet yang didefinisikan oleh persamaan^[3]

$$T_{\mu\nu} = (\rho + p)U_\mu U_\nu + pg_{\mu\nu}$$

$$E_{\mu\nu} = \frac{1}{4\pi} \left(F_{\mu\alpha} F_\nu^\alpha - \frac{1}{4} g_{\mu\nu} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} \right) \quad (14)$$

Di mana ρ dan p adalah kerapatan energi dan tekanan isotropik. U_μ adalah kecepatan-4 oleh partikel. Sedangkan $F_{\mu\nu}$ dan $A_{\mu\nu}$ merupakan tensor kuat medan dan vektor potensial medan elektromagnet ^[1].

Untuk menghitung tensor Einstein ($G_{\mu\nu}$), maka terlebih dahulu menghitung tensor energi momentum $T_{\mu\nu}$ dan $E_{\mu\nu}$ untuk fluida ideal dan medan elektromagnet. Dengan memasukkan komponen-komponen tensor metrik pada persamaan (13) dan komponen $F_{\mu\nu}$ pada persamaan (19) ke dalam persamaan (17), maka tensor energi momentum $T_{\mu\nu}$ dan $E_{\mu\nu}$ diberikan oleh persamaan ^[5]

$$T_0^0 = \rho \quad T_1^1 = T_2^2 = T_3^3 = p$$

$$2\pi E_0^0 = 2\pi E_1^1 = \frac{Q^2 \left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)}{x^4 a^2 \left[\left(1 + \frac{M}{ax} \sqrt{1 + \frac{kx^2}{4}}\right)^2 - \frac{Q^2}{a^2 x^2} \left(1 + \frac{kx^2}{4}\right) \right]^4} \quad (15)$$

$$2\pi E_0^0 = 2\pi E_1^1 = -\frac{Q^2 \left(1 + \frac{kx^2}{4}\right)}{x^4 a^2 \left[\left(1 + \frac{M}{ax} \sqrt{1 + \frac{kx^2}{4}}\right)^2 - \frac{Q^2}{a^2 x^2} \left(1 + \frac{kx^2}{4}\right) \right]^4}$$

Selanjutnya, tensor medan Einstein pada persamaan (13) akan dilakukan operasi turunan terhadap salah satu indeks, maka $G_{;\nu}^{\mu\nu} = 0$, maka persamaan Medan Einstein akan menjadi $T_{;\nu}^{\mu\nu} + E_{;\nu}^{\mu\nu} = 0$. Berdasarkan persamaan pada metrik FRW, $T_{;\nu}^{\mu\nu} = 0$ yang tidak lazim dalam kajian kosmologi sekarang. Selanjutnya ditinjau khusus untuk medan elektromagnet, yakni^[5]

$$\begin{aligned}
4\pi E_{;\nu}^{\mu\nu} &= F^{\mu\alpha} F_{\alpha;\nu}^{\nu} + F_{;\nu}^{\mu\alpha} F_{\alpha}^{\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} F^{\alpha\beta} F_{\alpha\beta} \\
&= F^{\mu\alpha} F_{\alpha;\nu}^{\nu} + \frac{1}{2} g^{\mu\rho} F^{\nu\sigma} (F_{\rho\sigma;\nu} - F_{\rho\nu;\sigma} - F_{\sigma\nu;\rho}) \quad (16) \\
&= -F^{\mu\alpha} J_{\alpha} = 0
\end{aligned}$$

Jadi dari persamaan (16) dapat dijelaskan bahwasanya $T_{\mu\nu}$ dan $E_{\mu\nu}$ mengikuti identitas Bianchi. Oleh sebab itu, metrik yang diberikan oleh persamaan (1.12) merupakan solusi eksak dari persamaan Einstein-Maxwell ^[3].

IV. PROPERTI LUBANG HITAM

Pada bagian ini akan ditunjukkan bagaimana dua parameter M dan Q yang saling terkait dengan massa dan muatan dari lubang hitam, yang diasumsikan bahwasanya evolusi alam semesta jauh lebih lambat sehingga dapat digunakan aproksimasi dari keadaan ruang-waktu yang stasioner. Maka akan didapatkan persamaan massa dan muatan lubang hitam yang terkait dengan evolusi semesta ^[10]. Hubungan tersebut diberikan oleh persamaan berikut;

$$\begin{aligned}
M_0 &\equiv -\frac{1}{8\pi} \int_s \epsilon_{abcd} \nabla^c \xi^d = \frac{M}{a} \\
Q_0 &\equiv -\frac{1}{8\pi} \int_s \epsilon_{abcd} F^{cd} = \frac{Q}{a}
\end{aligned} \quad (17)$$

Selanjutnya akan ditinjau dua permukaan dari lubang hitam yang berada dalam sistem koordinat kosmik. Kita mendapatkan radius dari permukaan rupa waktu (time-like) ^[10] adalah;

$$r_{TLS} = \sqrt{\frac{M^2}{a^2} - \frac{Q^2}{a^2}} \quad (18)$$

Dan turunan waktu dari radius cakrawala peristiwa ^[10] adalah

$$\dot{r}_{EH} = \pm \frac{1 - \frac{M^2}{a^2 r_{EH}^2} + \frac{Q^2}{a^2 r_{EH}^2}}{a \left[\left(1 + \frac{M^2}{a^2 r_{EH}^2} \right)^2 - \frac{Q^2}{a^2 r_{EH}^2} \right]^2} \quad (19)$$

Di mana tanda "+" dan "-" koresponding terhadap diperluas dan diperpendeknya evolusi alam semesta. Jadi untuk cakrawala peristiwa dalam keadaan permukaan rupa- waktu, maka akan didapat $\dot{r}_{EH} < 0$ untuk semesta yang diperluas dan untuk $\dot{r}_{EH} > 0$ untuk semesta yang diperpendek ^[13].

Esensi dari persamaan (18) dan (19) untuk menjelaskan bahwasanya skala tipikal lubang hitam ini berhubungan erat dengan evolusi alam semesta. Permukaan rupa-waktu dan jarak cakrawala peristiwa akan menghilang begitu saja seiring dengan diperluasnya alam semesta. Sebaliknya, permukaan rupa-waktu dan jarak cakrawala peristiwa akan diperluas seiring dengan memendeknya alam semesta. Untuk keadaan yang asimptotik, maka faktor skala semestanya ($a = 1$) dan $\dot{r}_{EH} = 0$, maka akan ditemukan dua macam permukaan secara bersamaan ^[13], yakni;

$$r_{TLS} = r_{EH} = \sqrt{M^2 - Q^2} \quad (20)$$

dengan membandingkan persamaan (20) dan (18), maka akan ditemukan lubang hitam yang berada dalam semesta yang mengembang dengan massa $M_0 = M/a$ dan muatan $Q_0 = Q/a$. Di mana keduanya saling bergantung pada skala semesta dan tidak konstan.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan dinamika lubang hitam Reissner-Nordstrom dalam kosmologi FRW, maka perlu menuliskan kembali metrik yang bersangkutan seperti pada persamaan (12). Untuk kasus kosmologi yang mengembang, maka akan diambil konstanta kelengkungan ($k = 0$), sesuai data pengukuran arus yang dilakukan oleh *Microwave Background Radiation (MBR)* menunjukkan bahwasanya alam semesta yang luas akan nampak seperti ruang datar ^[12]. Maka persamaan (12) dapat direduksi ke dalam persamaan;

$$\begin{aligned}
dl^2 &= - \frac{\left[1 - \frac{M^2}{a^2 x^2} + \frac{Q^2}{a^2 x^2} \right]^2}{\left[\left(1 + \frac{M}{ax} \right)^2 - \frac{Q^2}{a^2 x^2} \right]^2} dv^2 + \\
&\quad a^2 \left[\left(1 + \frac{M}{ax} \right)^2 - \frac{Q^2}{a^2 x^2} \right]^2 \\
&\quad (dx^2 + x^2 d\theta^2 + x^2 \sin^2 \theta d\phi^2)
\end{aligned} \quad (20)$$

Untuk mendapatkan persamaan gerak lubang hitam bermuatan, maka perlu dituliskan kembali persamaan (20) ke dalam sistem koordinat kosmik (Schwarzschild) seperti hal yang dilakukan pada persamaan (2). Maka dari itu, variabel transformasi yang memenuhi persamaan tersebut adalah ^[5]

$$T = 2v \quad s = 2l$$

$$2r = ax \left(1 + \frac{M}{ax}\right)^2 - \frac{Q^2}{a^2 x^2} \quad (21)$$

Maka persamaan (20) akan menjadi

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right) dT^2 + \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right)^{-1} dr^2 - 2Hr \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right) dT dr + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \quad (22)$$

di mana $H \equiv \frac{1}{a} \frac{da}{dT}$ yang merupakan parameter Hubble. Parameter Hubble mendeskripsikan seberapa besarnya pengembangan semesta tersebut. Di mana untuk keadaan

Sistem koordinat (T, r, θ, ϕ) pada persamaan (1.22) adalah tidak orthogonal. Oleh karena itu, koefisien $(dT dr)$ dapat dihilangkan dengan mengganti sebuah koordinat waktu yang baru (t) . Pengaturan koordinat waktu yang baru diberikan oleh transformasi berikut [5]

$$dt = F(T, r) dT + F(T, r) Hr \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (23)$$

$$\left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right)^{-1} dr$$

Maka elemen garis dari persamaan (22) akan menjadi

$$ds^2 = -F^2 \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right) dt^2 + F^2 \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right)^{-1} dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \quad (24)$$

Dengan F merupakan faktor diferensial total dari koordinat waktu yang baru. Untuk konstanta F dan H masing-masing merupakan fungsi dari t dan r . Dalam hal ini, dipilih nilai $F(T, r) = 1$. Jika diandaikan lubang hitam itu berada dalam keadaan vakum, maka kerapatan energi dan tekanannya akan menjadi nol ($p = \rho = 0$). Dengan demikian, nilai untuk parameter Hubble juga akan sama nol ($H = 0$). Sehingga persamaan

(6) akan kembali ke solusi lubang hitam Reissner Nordstrom yang statik. Selain itu, jika $\frac{2M}{r} \rightarrow 0$ dan $\frac{Q^2}{r^2} \rightarrow 0$, maka persamaan (6) akan mempresentasikan solusi kosmologi FRW dalam sistem koordinat solar. Sedangkan untuk kasus kosmologi de Sitter, maka H merupakan sebuah konstanta.

Selanjutnya, akan dicari dinamika lubang hitam bermuatan di bawah pengaruh medan elektromagnet untuk semesta yang mengembang, maka kita tinjau persamaan geodesik ruang-waktu yang dapat diturunkan dari persamaan Lagrangian. Persamaannya diberikan oleh [4]

$$2\mathcal{L} = \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right) \dot{t}^2 - \left(1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} - H^2 r^2\right)^{-1} \dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 + r^2 \sin^2 \theta \dot{\phi}^2 + \frac{2qQ}{r} \dot{t} \quad (25)$$

di mana $\frac{2qQ}{r} \dot{t}$ merupakan bentuk interaksi medan elektromagnet.

Dengan menurunkan persamaan (1.25), maka akan didapatkan dinamika lubang hitam bermuatan dalam kosmologi FRW, yakni

$$\frac{d^2 u}{d\phi^2} + u = \frac{M}{L^2} - \frac{Q^2}{L^2} (1 + q^2) u + 3Mu^2 - 2Q^2 u^3 - \frac{H^2}{L^2 u^3} \quad (26)$$

di mana

Suku kedua dan ketiga sebelah kanan sebagai akibat dari efek relativitas umum di mana massa melengkungkan geometri dari lubang hitam yang tertanam dalam sebuah semesta. Suku kedua dan keempat merupakan efek muatan listrik dari lubang hitam. Hal inilah yang membuat muatan itu terus terdistribusi dari pusat muatan gravitasi ke seluruh horizon lubang hitam tersebut. Sedangkan suku terakhir persamaan sebelah kanan sebagai efek dari kosmik yang mengalami ekspansi.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Bansawang BJ, M.Si dan Prof. Dr.rer-nat Wira Bahari Nurdin telah bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi dan membimbing saya sehingga penelitian ini bisa terselesaikan. Selain itu, ucapan terima kasih juga kepada teman-teman komunitas meja kotak yang menjadi teman diskusi intensif sehingga terlahir ide-ide yang membangun penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Anugraha, Rinto. 2011. *Teori Relativitas dan Kosmologi*. Fisika UGM; Yogyakarta
- [2] BJ, Bansawang. 2006. *Metrik Medan Gravitasi Benda bermuatan Listrik Simetri Bola*.
<http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/8446>.
- [3] Carmeli, Moshe. 1982. *Classical Field Theory*. John Wiley & Sons; Israel
- [4] Chandrasekhar, S. 1983. *The Mathematical Theory of Black Holes*. Oxford University Press; New York.
- [5] Gao, C. J. dan Zhang, S. N. 2004. Phys. Lett. B Vol. 595 issue 1-4.
- [6] Gautama, Sunkar Eka. 2014. *Tinjauan Inflasi Alam Semesta Berdasarkan model Lambda-Cold Dark Matter (Λ CDM)*.
<http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/10970>.
- [7] McVittie, G. C.. 1933. Mon. Not. R. Astron. Soc. D 47 5401.
- [8] Kastor, D. dan Traschen, J. 1993. Phys. Rev. D 47 5401.
- [9] Nayak, K. R., MacCallum M. A. H., dan Vishveshara, C. V. 2000. Phys. Rev. D 63 024020
- [10] Purwanto, Agus. 2009. Pengantar Kosmologi. ITS Press; Surabaya.
- [11] Shiromizu, T. dan Gen, U. 2000. Class. Quantum. Grav. 17 1361
- [12] S. Hanany, et al., Astrophys. J. 545 (2000) L5
- [13] Wald, R. M. 1984. *General Relativity*. University Of Chicago Press; London.

Aplikasi Metoda Wang-Landau pada Studi Perubahan Fase Model Ising Dua Dimensi dengan Interaksi Ekstra

Aswin* dan Tasrief Surungan

Laboratorium Fisika Teoretik dan Komputasi, Jurusan Fisika, FMIPA, UNHAS

*Email: aswien.sabba@gmail.com

ABSTRAK

Paper ini membahas metoda Monte Carlo (MC) algoritma Wang-Landau (WL) dalam studi perubahan fase model Ising untuk kisi dua dimensi dengan interaksi ekstra yang ditambahkan secara acak. Algoritma ini sangat ampuh dalam menganalisis model-model magnetic diskret seperti model Ising dan model Jam (Clock model). Berbeda dengan algoritma Metropolis yang sudah sangat lumrah, algoritma WL memungkinkan perolehan nilai besaran fisis pada temperature sembarang. Model kisi yang ditinjau dalam makalah ini berbeda dengan yang biasa sebab jumlah interaksi langsung masing-masing spin tidak seragam. Setiap spin dibolehkan memiliki interaksi tambahan dengan salah satu dari tetangga diagonalnya yang paling dekat. Hasil perhitungan panas jenis mengindikasikan peningkatan titik kritis; yang menunjukkan bahwa fase magnetic system ini lebih stabil dibandingkan fase magnetic system kisi reguler.

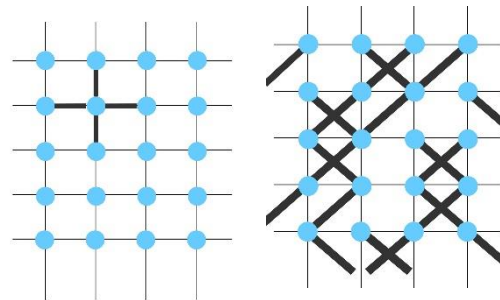
Kata Kunci: Algoritma Wang-Landau, Model Kisi, Panas Jenis

I. PENDAHULUAN

Perubahan fase merupakan gejala yang lumrah terjadi di alam seperti mencairnya es dan magnetisasi spontan pada material magnetik^[1]. Fase sendiri merupakan keseragaman sifat dari himpunan titik keadaan yang biasa digambarkan dalam diagram PVT, dimana P, V dan T merupakan besaran termodinamik. Perubahan fase magnetik erat kaitannya dengan kerusakan simetri, khususnya simetri arah yang menjadi cikal bakal terjadinya magnetisasi spontan.

Untuk menjelaskan terjadinya magnetisasi spontan, Ernest Ising (1925) memperkenalkan model magnetik berupa feromagnet dalam satu dimensi walaupun tidak ditemukan adanya perubahan fase. Studi tersebut lebih lanjut populer dikenal sebagai model Ising^[2]. Karakteristik model Ising dikenali dengan spin yang memiliki dua arah yakni *up* (\uparrow) dan *down* (\downarrow). Pemberian nilai yang digunakan untuk spin tersebut; spin *up* bernilai 1 dan spin *down* bernilai -1. Spin akan ditempatkan pada sebuah kisi berbentuk persegi dimana setiap spin akan berinteraksi dengan spin tetangga terdekatnya. Secara reguler, kisi 1 dimensi memiliki 2 spin tetangga terdekat yakni arah samping kanan dan samping kiri. Kisi 2 dimensi memiliki 4 tetangga terdekat; 2 dari arah samping dan 2 dari arah bawah dan atas spin. Sedangkan untuk kisi 3 dimensi memiliki tetangga terdekat seperti kisi 2 dimensi namun terdapat penambahan 2 tetangga pada arah depan dan belakang.

Telah menjadi hal yang biasa pengujian sifat magnetik menggunakan kisi reguler. Pada studi ini akan diterapkan kisi 2 dimensi dengan penambahan ekstra interaksi spin. Secara langsung spin diperbolehkan berinteraksi dengan satu spin terdekatnya pada arah diagonal secara acak dengan pengambilan interaksi acak pada satu arah. Dengan demikian kisi 2 dimensi yang umumnya setiap spin memiliki 4 tetangga terdekat, kini memiliki 5 hingga 7 tetangga terdekat.



Gambar 1. Kisi reguler 2 dimensi (*kiri*), Kisi 2 dimensi dengan ekstra interaksi (*kanan*).

Dengan adanya penambahan interaksi spin untuk kisi 2 dimensi maka diramalkan akan adanya pergeseran besar energi setiap satu konfigurasi spin (*microstate*). Hal tersebut ditandai dengan peningkatan besarnya nilai Hamiltonian setiap *microstate* sehingga berimplikasi pada pencapaian sistem magnetik yang lebih stabil atau titik kritis yang lebih tinggi.

II. MODEL DAN METODA SIMULASI

Model magnetik yang digunakan adalah model Ising pada kisi 2 dimensi (bujursangkar) dengan penambahan ekstra interaksi spin pada arah diagonal secara acak. Hamiltonian model Ising merupakan bentuk diskret dari model Jam (*clock model*) dengan jumlah arah minimum yang dituliskan dengan

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j \quad (1)$$

dimana S_i merupakan posisi spin, S_j menunjukkan tetangga terdekat spin dan J menyatakan *coupling* antar spin. Untuk kasus feromagnetik (FM) $J > 0$ dan antiferomagnetik (AF) $J < 0$.

Metoda Monte Carlo digunakan sebagai basis simulasi dengan menggunakan algoritma Wang-Landau (WL). Keampuhan WL terlihat dari kemampuannya dalam mengukur kuantitas fisis yang tidak bergantung pada temperatur tertentu. Hal ini tentu berbeda dengan algoritma konvensional MC yang selama ini digunakan seperti Metropolis yang temperaturnya telah ditentukan lebih awal sehingga sulit untuk mengetahui titik kritis di luar dari temperatur yang telah ditetapkan sebelumnya.

Langkah awal penerapan algoritma WL adalah untuk memperoleh rapat energi (*Density of State*) $g(E)$ secara akurat yang ditautkan dengan fungsi partisi Z seperti

$$Z = \sum_E g(E) e^{\frac{-E}{k_B T}} \quad (2)$$

Dengan mengetahui fungsi partisi Z maka sejatinya model magnetik telah terselesaikan sebab kebanyakan kuantitas termal dapat dihitung melalui Z ^[3].

Pada model Ising jumlah *microstate* diketahui melalui perumusan $2^{L \times L}$, dengan interpretasi L sebagai panjang linear kisi. Tidak semua *microstate* akan dibangkitkan karena selain membutuhkan kapasitas memori komputer yang cukup besar, juga memakan waktu yang lama dalam proses perhitungannya. Dengan WL, sejumlah *microstate* akan dibangkitkan dan diklasifikasikan berdasarkan *Density of State* (DOS) $g(E)$. Proses peralihan *microstate* dari energi E_i ke energi E_j melalui proses Markov menggunakan probabilitas energi yang dinyatakan dengan

$$P(E_i \rightarrow E_j) = \min \left(1, \frac{g(E_i)}{g(E_j)} \right) \quad (3)$$

Persamaan (3) menceritakan akan proses seleksi *microstate* yang sesuai. Syarat *microstate* diterima ketika E sebanding dengan dengan resiprok dari DOS $1/g(E)$ ^[4], sementara itu akan dihitung akumulasi histogram $H(E)$ dari setiap level energi yang telah dikunjungi melalui perhitungan secara iteratif

$$H(E) \rightarrow H(E) + 1 \quad (4)$$

WL memperkenalkan faktor modifikasi f yang berguna sebagai akselerasi penyebaran perjalanan acak (*random walk*) sehingga estimasi DOS diperoleh diperoleh lebih akurat^{[3][5]}.

Perolehan $g(E)$ akan menghasilkan nilai yang sangat besar sehingga nilai $g(E)$ akan diproyeksikan dalam bentuk logaritmik $\ln[g(E)]$. Oleh karena itu, setiap pembaruan DOS diterapkan

$$\ln[g(E)] \rightarrow \ln[g(E)] + \ln f \quad (5)$$

dimana f secara bertahap akan berkurang hingga histogram $H(E)$ mencapai syarat rata (*flatness*); ketika histogram dari semua energi E yang memungkinkan tidak kurang dari nilai rata-rata histogram, katakanlah 0.80^[5]. Selain itu, sebagaimana penggunaan bilangan logaritmik maka rasio $g(E)$ pada persamaan (3) dihitung dengan $\exp\{\ln[g(E_i)] - \ln[g(E_j)]\}$ ^[3].

Bagian akhir dari metode ini ; perolehan $g(E)$ pada setiap level energi kemudian digunakan sebagai perhitungan rerata ensambel dari kuantitas fisis termodinamik

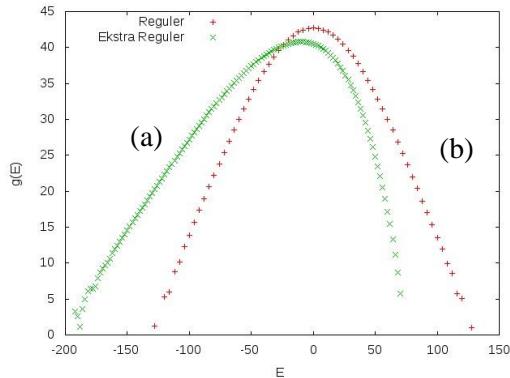
$$\langle Q \rangle = \frac{\sum_i g(E_i) Q_i e^{-\beta E_i}}{\sum_i g(E_i) e^{-\beta E_i}} \quad (6)$$

dimana β merupakan $1/k_B T$. Dari persamaan (6) akan diukur rerata ensambel energi dan parameter order berupa magnetisasi untuk menelusuri titik kritis sistem. Estimasi nilai titik kritis diperoleh melalui perhitungan panas jenis yang melibatkan rerata ensambel energi $\langle E \rangle$ yang dinyatakan dengan

$$C_v = \frac{1}{k_B T^2} (\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2) \quad (7)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

Perbedaan yang mencolok dari algoritma WL dengan algoritma MC lainnya yang cukup lawas seperti Metropolis yakni energi suatu *microstate* akan diklasifikasikan berdasarkan level energinya atau lebih dikenal dengan penentuan rapat energi (*density of state*) sehingga energi akan terdistribusi sesuai masing-masing tingkatan. Berikut pemaparan hasil studi magnetik dimulai dari perolehan distribusi energi pada fungsi $g(E)$ menggunakan panjang linear kisi L ; 8.

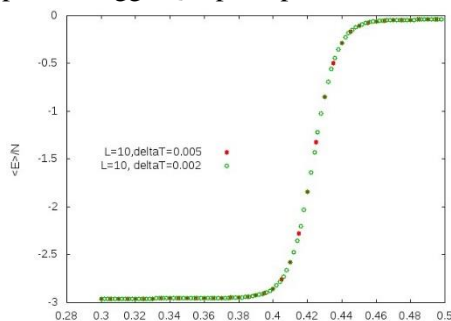


Gambar 2: Grafik DOS vs energi E; $L=8$.

Gambar 2 merupakan satu sampel distribusi energi pada fungsi DOS untuk model feromagnetik gabungan antara Ising 2 dimensi ϕ reguler dan penambahan ekstra interaksi spin.

Hasil komputasi diperoleh grafik fungsi DOS untuk ekstra interaksi spin pada model Ising 2 dimensi terjadi pergeseran distribusi energi sesuai pada gambar 2(a). Jika biasanya pada kisi reguler puncak DOS terdapat pada energi 0 seperti pada gambar 2(b) maka penambahan jumlah interaksi spin membuat puncak DOS mengalami perubahan sehingga grafik nampak tidak lagi simetri.

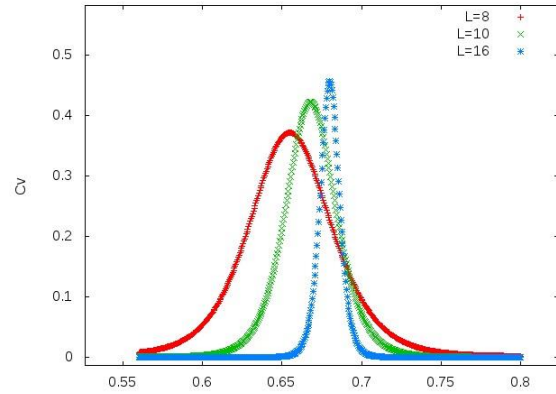
Letak kemampuan algoritma WL terdapat pada kemampuannya untuk mengukur kuantitas fisis Q pada temperatur atau kenaikan temperatur manapun sehingga Q dapat diperoleh lebih akurat.



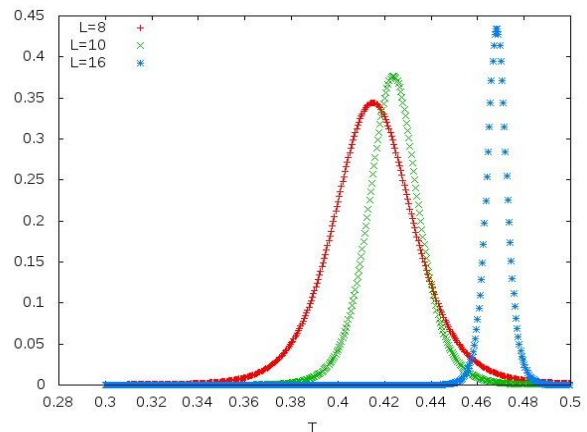
Gambar 3: Grafik C_v vs T dengan variasi perubahan temperatur, $L;8$.

Gambar 4 menunjukkan pengukuran Q berupa energi E yang telah dirata-ratakan per *microstate* dengan kenaikan temperatur yang berbeda.

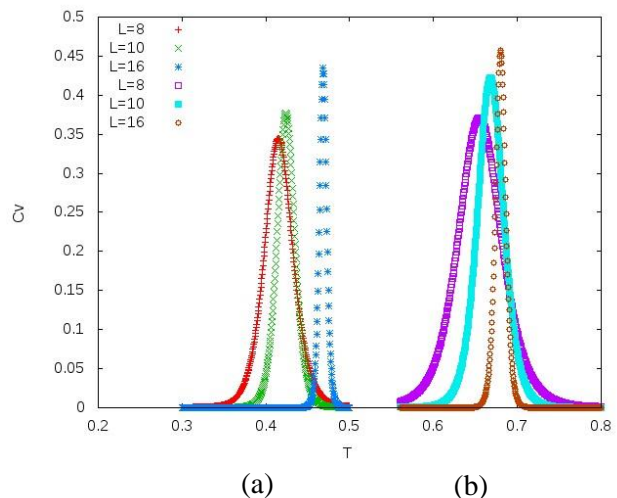
Setelah perhitungan rerata ensambel untuk kuantitas fisis Q berupa energi menggunakan persamaan (6), maka selanjutnya akan diukur besar panas jenis sistem menggunakan persamaan (7).



Gambar 4: C_v vs T ; kisi 2 dimensi reguler.



Gambar 5: C_v vs T ; kisi 2 dimensi dengan ekstra interaksi



Gambar 6: Plot gabungan C_v vs T ; kisi reguler (a) dan kisi ekstra interaksi (b)

Secara berturut, interpolasi besar C_v untuk kisi 2 dimensi reguler dan kisi dengan penambahan interaksi ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6. Pada gambar 7 menunjukkan gambaran yang begitu jelas akan adanya perubahan *peak* C_v , dimana untuk perbandingan panjang linear kisi yang sama; kisi 2 dimensi dengan tambahan interaksi menunjukkan peningkatan *peak* C_v dibanding dengan kisi 2 dimensi reguler.

IV. KESIMPULAN

Algoritma Wang-landau memberikan solusi yang baik dalam proses *sampling* energi sistem. Dengan WL, kuantitas fisis dapat diukur pada temperatur manapun.

Pengukuran kuantitas fisis khususnya C_v pada model Ising 2 dimensi dengan interaksi tambahan menunjukkan perubahan C_v yang semakin meningkat, menunjukkan kestabilan fase magnetik sistem yang lebih baik dibanding model Ising 2 dimensi reguler.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang begitu besar penyusun ucapkan kepada Bangsawan BJ atas diskusi dan arahannya dalam studi ini. Begitu pun kepada fasilitator dalam komputasi paralel dengan komputer jurusan Fisika FMIPA, Universitas Hasanuddin.

REFERENSI

- [1] T.Surungan, Y. Komura, and Y. Okabe, AIP.Conf. Proc.1617,79 (2014).
- [2] Agarwal I. *Numerical Analysis of 2-D Ising Model, Masters in Physics*. University of Bonn. 2011.
- [3] D.P. Landau, S.H. Tsai , and M. Exler, Am. J. Phys. 72, 1294 (2004).
- [4] F. Wang and D. P. Landau, Phys. Rev. Lett. 86, 2050, (2001); Phys.Rev. E 64, 056101, (2001).
- [5] T. Surungan, Y. Tomita and Y. Okabe, Phys.A: Math. Gen. 37, 4219, (2004).

Pemodelan Dispersi CO Dari Cerobong Pabrik Semen Tonasa Dengan Menggunakan Model AERMOD

Alimuddin Hamzah Assegaf* dan Erwin Azizi Jayadipraja

Center for Environmental Studies (CES), Hasanuddin University
Kampus UNHAS Tamalanrea, Jl. Perintis km. 10, Makassar, 90245

*Email: alihamzah@science.unhas.ac.id

ABSTRAK

American Meteorological Society - Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) model telah digunakan untuk memodelkan dispersi gas CO yang keluar dari cerobong Pabrik PT. Semen Tonasa dan menentukan *impact radius*. Data meteorologi yang diproses oleh AERMET diperoleh dari reanalisis data MM5. Data topografi diekstrak dari data satelit SRTM30. Model ini dijalankan selama satu tahun untuk mendapatkan melingkupi musim kemarau dan penghujan. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa konsentrasi polutan CO cenderung menyebar ke arah timur. Radius yang terkena (*impact radius*) dengan paparan dampak (baku mutu: $10,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) untuk rata 1 jam dan 3 jam teratas, masing-masing sekitar 8,6 km dan 4,9 km. Areal dalam *impact radius* adalah area pabrik, perumahan pegawai, pemukiman masyarakat, kantor pusat dan area pertambangan. Aermom merupakan alat yang berguna dalam penentuan *impact radius* yang sangat diperlukan dalam studi AMDAL.

Kata Kunci: AERMOD, AERMET, CO, MM5, pabrik semen, *impact radius*

I. PENDAHULUAN

PT. Semen Tonasa adalah produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia yang menempati lahan seluas 715 hektar di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, sekitar 68 kilometer dari Kota Makassar, ibukota Provinsi Sulawesi Selatan. Perseroan yang memiliki kapasitas terpasang 5.980.000 ton semen per tahun ini, mempunyai empat unit pabrik, yaitu Pabrik Tonasa II, Pabrik Tonasa III, Pabrik Tonasa IV dan Pabrik Tonasa V. Keempat pabrik tersebut menggunakan proses kering dengan kapasitas masing-masing 590.000 ton semen pertahun untuk Unit II dan III, 2.300.000 ton semen per tahun untuk Unit IV serta 2.500.000 ton semen untuk Unit V. Perseroan berdasarkan anggaran dasar merupakan produsen semen di Indonesia yang telah memproduksi serta menjual semen di dalam negeri dan mancanegara sejak tahun 1968.

Wilayah pertambangan batu kapur PT.Semen Tonasa merupakan Kawasan Karst Maros-Pangkep merupakan yang terbesar. Gugusan karst yang terdapat di Kabupaten Maros dan Pangkep, Sulawesi Selatan yang sebagian masuk dalam wilayah Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung membentang seluas 43.750 hektar. Luas kawasan karts yang dapat dikelola oleh PT.Semen Tonasa seluas 750 hektar di Kabupaten Pangkep.

Makalah ini memaparkan penggunaan model dispersi gaussian sebagai *assessment tools* dalam menilai dampak emisi gas yang keluar dari cerobong pabrik semen. Pemakaian model untuk penilaian dampak diarahkan untuk menghitung *impact radius* belum populer di Indoensia, tetapi sudah dilakukan di negara lain (Seankiatyuth et al., 2011).

II. METODOLOGI PEMODELAN DISPERSI POLUSI UDARA

Model AERMOD

AERMOD (Cimorelli, et al, 1998;. US EPA 1998a, b) merupakan model gaussian jangkauan pendek (kurang dari 50 km) untuk mensimulasikan penyebaran emisi cerobong dari aktivitas industri. model ini telah dikalibrasi (Perry et. al., 2005) dan diadopsi oleh US.EPA sejak tahun 2005 untuk menggantikan model ISC3. AERMOD menggunakan teori similaritas *Planetary Boundary Layer* (PBL) (Monin dan Obukhov, 1954) untuk memperhitungkan dispersi yang dipengaruhi oleh pemanasan permukaan dan gesekan. Model ini membutuhkan informasi permukaan berupa panjang kekasaran, kelembaban, dan reflektifitas. Selain itu, informasi atmosfer atas yang lengkap diperlukan untuk menentukan kedalaman lapisan pencampuran (*mixing height*), dan membangun penetrasi plume parsial sepanjang bagian atas lapisan pencampuran.

Model AERMOD terdiri atas AERMOD (model utama) dan AERMET (processor meteorology) serta AERMAP (processor geomorfologi) (Ciromelli et. al, 2005). Model AERMET digunakan untuk menyiapkan data meteorology seperti: kecepatan dan arah angin, suhu, tutupan awan, serta data permukaan seperti albedo, kekasaran permukaan dan rasio bowen. Semua data ini diproses oleh AERMET untuk menghitung parameter permukaan PBL seperti: kecepatan friksi, panjang Monin-Obukov, skala kecepatan konvektif, skala tempratur, tinggi percampuran, dan panas permukaan. Sebagai tambahan, dihitung pula parameter *upper air PBL* seperti: profil vertikal dari kecepatan angin, profil lateral dan vertikal fluktuasi turubulen, gradien dan tempratur potensial. AERMAP akan menyiapkan data topografi dari data grid yang dipilih dari data *Digital Elevation Model (DEM)*. Dipersiapkan pula posisi reseptor yang dihitung dari permukaan laut (*MSL*) (Ciromelli et. al, 2005).

Penyiapan Data Meteorologi dan Topografi

Akurasi input data meteorologi dalam AERMOD merupakan hal yang sangat esensial untuk mendapatkan hasil prediksi yang akurat. Profil meteorologi secara vertikal dalam jam-jaman diperlukan untuk mensimulasikan medan angin dan mixing height. Sayangnya data yang demikian tidak tersedia di Indonesia, sehingga diperlukan data satelit atau data hasil prediksi model atmosfer regional seperti MM5 atau WRF. Data prognostik tersebut selanjutnya didownsacle ke dari 1 derajat ke area 12x12 km². Hasil prediksi dengan menggunakan data seperti ini memberikan hasil yang cukup bagus (Jesse, 2011).

Data meteorologi prognostic jam-jaman untuk periode tahun 2013 telah diperoleh dari model *Mesoscale* MM5 (Grell, et. al., 1994). Output selanjutnya diformat ulang untuk menghasilkan data meteorology permukaan dan *upper air* yang sesuai dengan format input AERMET. Pusat grid diset pada koordinat 4.787917 S dan 119.616722 E dengan luas sel 12x12 km yang berimpit dengan cerobong utama. Tinggi anemometer dan elevasi dasar masing-masing adalah 15 meter dan 149 meter di atas permukaan laut. Data DEM diekstrak dari citra satelit SRTM30, sementara landuse ditentukan melalui observasi visual.

Data Emisi Cerobong

Data emisi cerobong diperoleh dari emisi rata-rata tahunan 2014 seperti diperlihatkan pada Tabel-1. Data mentah yang diperoleh bersatuan mg/l yang selanjutnya dikonversi menjadi g/s berdasarkan karakteristik masing-masing cerobong.

Untuk melakukan analisis dampak emisi cerobong, maka digunakan baku mutu udara ambien nasional: kosentrasi maksimum CO yang diperkenankan untuk paparan 1 jam dan 24 jam, masing-masing sebesar $3 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

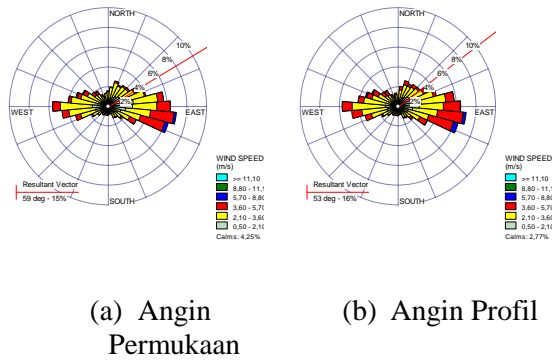
Tabel-1: Emisi CO Cerobong PT. Semen Tonasa tahun 2014

Parameter	Pabrik Unit II / Cerobong Pengering Batu kapur (limestone dryer)	Pabrik Unit II / Cerobong Tanur Putar (Klin)	Pabrik Unit III / Cerobong Tanur Putar (Klin)	Pabrik Unit IV / Cerobong Tanur Putar (Klin)	Pabrik Unit V / Cerobong Tanur Putar (Klin)	Pabrik Unit IV / Cerobong Unit Terak (Grate Cooler)	Pabrik Unit V / Cerobong Unit Terak (Grate Cooler)
Bahan Bakar	Bbara	Bbara	Bbara	Bbara	Solar	Bbara	Bbara
Suhu Udara (Kelvin)	304.2	303.9	303.5	304.2	304.5	305.1	304.5
Suhu Stack (Kelvin)	431	394	407.2	402	481	430	491
Kec. Gas Buang (m/s)	8.74	7.31	7.45	7.42	8.68	8.71	8.79
Tinggi Stack (m)	61.37	50.00	47.00	59.31	105.60	37.78	39.70
Dia. dlm Stack (m)	2.24	2.80	3.20	5.48	5.30	3.37	2.65
Luas Stack (m ²)	3.939	6.154	8.038	23.574	22.051	8.915	5.513
Emission Rate CO (g/s)	59.125	92.722	171.424	420.591	788.949	373.424	288.509

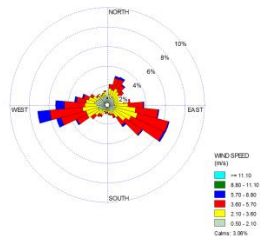
III. DISKUSI

Analisis Data Meteorologi

Data meteorologi yang dianalisis terdiri atas data permukaan dan data profil. Hasil analisis windrose angin permukaan dan profil menunjukkan bahwa angin dominan berhembus dalam arah timur-barat dengan kecepatan rata-rata sebesar 4,26 m/s. Calm frequency sebesar 4,25%. Kedua windrose tersebut menunjukkan karakteristik yang hampir sama. Untuk menguji validitas data model ditampilkan pula windrose dari pengukuran radio sonde bandara udara Sultan Hasanuddin Makassar. Windrose antara wind profil dan hasil radio sonde menunjukkan kemiripan. Hal ini berarti data angin hasil pemodelan menunjukkan karakterisitik yang sama dengan hasil pengukuran lapangan.



Gambar 1. Windrose Angin Permukaan dan Angin Profil

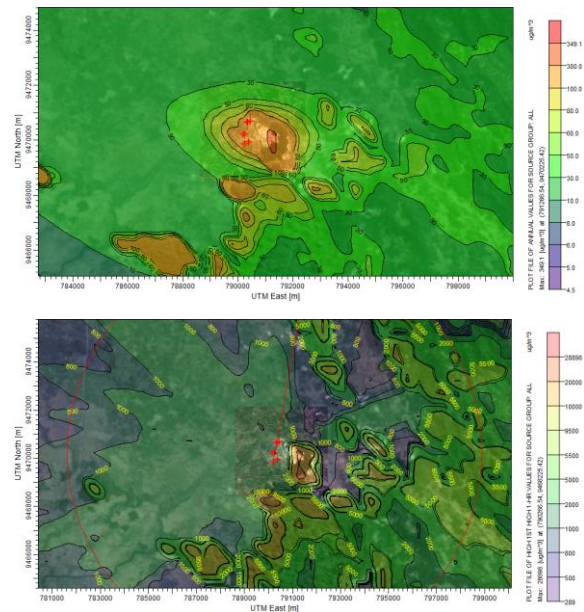


Gambar 2. Windrose Hasil Pengukuran Radio Sonde
Hasil Pemodelan Sebaran CO

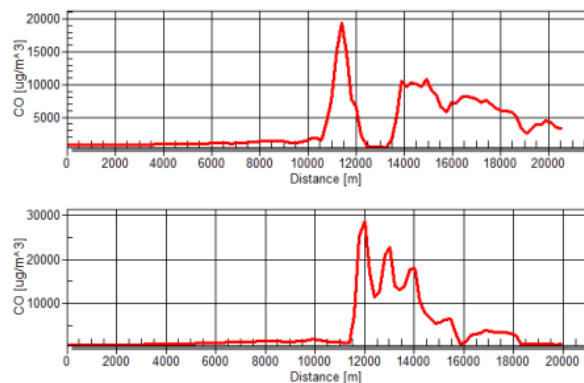
Berdasarkan input emisi cerobong, data topografi dan data angin model, maka telah dijalankan program Aermოდ selama satu tahun. Hasil pemodelan sebaran CO untuk rata-rata tahunan (Gambar-3, bagian atas). menunjukkan bahwa sebaran CO jauh di bawah baku mutu sebesar $10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai peak (terbesar) yang diperoleh adalah $349 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arah penyebaran sesuai dengan arah angin, yakni timur-barat. Konsentrasi rata-rata satu jam tertinggi (Gambar-3, bagian bawah) menunjukkan bahwa telah terdapat konsentrasi lebih dari baku mutu dalam radius 8,6 km. Radius ini biasa disebut sebagai impact radius. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi dalam satu tahun yang jika dirata-ratakan pada periode satu jam akan melebihi baku mutu. Nilai peak (terbesar) yang diperoleh adalah $29.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Termasuk dalam jangkauan *impact radius* adalah area pabrik, perumahan pegawai, kantor pusat dan area pertambangan. Gambar kontur sisi bawah juga tidak menunjukkan arah penyebaran konsentrasi timur-barat yang jelas. Tetapi dengan melihat *cross-section* timur-barat dan utara-selatan (Gambar-4), terlihat jelas arah penyebaran polutan lebih cenderung ke arah timur-barat.

Hasil perhitungan rata-rata 3 jam tertinggi menunjukkan bahwa *impact radius* sepanjang 4,9 km (peak: $17.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan rata-rata 24 jam

menunjukkan bahwa tidak terdapat konsentrasi di atas baku mutu. Nilai radius impact untuk konsentrasi $\frac{1}{2}$ dari bakumutu ($5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) adalah sejauh 10 km.



Gambar 3. Pola Penyebaran CO: Rata-rata 1 tahun (atas) dan rata-rata 1 jam tertinggi (bawah)



Gambar 4. Pola Sebaran CO pada lintasan Timur-Barat (atas) dan Utara-Selatan (bawah)

IV. KESIMPULAN

Emisi CO dari cerobong Pabrik PT. Semen Tonasa cenderung mengarah timur-barat sesuai dengan arah angin dominan. Konsentrasi rata-rata tahunan jauh di bawah baku mutu. Namun demikian, rata-rata satu jam tertinggi melebihi bakumutu dengan *impact radius* 8,6 km dan rata-rata 3 jam tertinggi juga melebihi baku mutu dengan *impact radius* 4,9 km. Hal ini menyatakan bahwa dalam periode tertentu dalam satu tahun pada radius tersebut menerima paparan CO di atas baku mutu.

REFERENSI

- [1] Cimorelli, A. J. et. al., 2005: AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Application. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization, *Journal of Applied Meteorology* 44, 682-693.
- [2] G. A. Grell, J. Dudhia and D. R. Stauffer, 1994: A Description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), *NCAR Tech Note, NCAR/TN-398+STR*, 117.
- [3] Jesse L. Thé, Russell Lee, Roger W. Brode (2011): Worldwide Data Quality Effects on PBL Short-Range Regulatory Air Dispersion Models, Weblakes Environment Consultants Inc.
- [4] Monin, A.S. and A.M. Obukhov (1954): Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere (english translation by John Miller for Geophysics Research Directorate, AF Cambridge Research Centre, Cambridge, Massachusetts, by the American Meteorological Society), Originally published in Tr. Akad. Nauk SSSR Geophiz. Inst. 24(151):163-187.
- [5] Perry, S. G. et. al., 2005: AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Application. Part II: Model Performance against 17 Field Study Databases, *Journal of Applied Meteorology* 44, 696-708.
- [6] Seankiatyuth, Kanyanee, V. Surapipith, K. Tantrakarnapa and A. W. Lothongkum, 2011: Application of AERMOD Modeling System for Environmental Impact Assessment of NO₂ Emissions from A Cement Complex, *Journal of Environmental Sciences* 23(6), 931-940.
- [7] US Environmental Protection Agency, 1998a: AERMOD: Revised Draft – User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- [8] US Environmental Protection Agency, 1998b: Revised Draft – User's Guide to the AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP). Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.

Simulasi Stimulasi Listrik pada Jantung

Wira Bahari Nurdin*

Laboratorium Fisika Teori dan Komputasi
Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Hasanuddin,
Makassar 90245, Indonesia

*Email: wbnurdin@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi model stimulasi listrik saraf didasarkan pada prinsip-prinsip elektrofisiologi yang keduanya melingkupi dalam analisis matematika dan limitasi pada struktur yang lebih kompleks. Hasilnya memberikan titik awal menuju penjelasan model yang lebih realistis, dan seperti pada gambaran yang diperoleh, terdapat aspek penerapan yang lebih luas. Dalam contoh stimulasi saraf yang paling sederhana, titik sumber arus kekuatan ditempatkan di dekat serat mielin yang seragam, dan kedua sumber dan saraf terletak pada media homogen yang luasnya tak terbatas. Dengan konfigurasi ini jarak sumber serat, diameter serat, dan diameter akson ikut diperhitungkan. Panjang ruas dan rasio panjang ruas untuk diameter serat diasumsikan konstan. Model ini memperlihatkan keserupaan dengan model yang diteliti oleh McNeal (1976).

Kata Kunci: simulasi, stimulasi listrik, jantung

I. PENDAHULUAN

Penggunaan terapi ilmiah listrik telah dibahas di sejumlah karya ilmiah (Seligman, 1982). Dalam kebanyakan kasus, terapi listrik timbul sebagai akibat dari depolarisasi atau hiperpolarisasi membran sel yang dapat tereksitasi yang dihasilkan dari arus diberikan. Mekanisme lain yang tampaknya kadang-kadang terlibat didalamnya termasuk efek termal dan neurohumoral. Stimulasi listrik merupakan aplikasi yang sangat mudah untuk penggunaan terapi listrik. Metode lain di mana elektroterapi dapat diterapkan dalam stimulasi listrik dari jaringan jantung, adalah alat pacu jantung dan defibrilasi jantung. Karena stimulasi listrik dari jaringan biologi memerlukan penggunaan elektroda, setiap studi praktis harus mencakup perhitungan elektroda dan interaksi elektroda dengan jaringan. Sifat mekanik dari elektroda yang penting khususnya yang berkaitan dengan implan yang waktu hidupnya terukur tahunan. Karena aliran listrik dari elektroda (di mana elektron membawa beban) ke dalam jaringan (di mana ion membawa biaya) dapat melibatkan reaksi elektrokimia, maka hal ini harus dipelajari baik dalam bentuk simulasi beserta pembahasan karakteristik elektroda untuk stimulasi listrik tersebut.

Model simulasi ini cukup sederhana; yang keduanya melingkupi aset (dalam analisis matematika) dan limitasi (karena kita sebenarnya tertarik pada struktur yang lebih kompleks). Hasilnya tetap penting karena mereka memberikan titik awal menuju penjelasan model yang lebih realistis, dan seperti pada gambaran

yang diperoleh, terdapat aspek penerapan yang lebih luas. Dalam contoh stimulasi saraf yang paling sederhana, titik sumber arus kekuatan I_a ditempatkan di dekat serat mielin yang seragam, dan kedua sumber dan saraf terletak pada media homogen yang luasnya tak terbatas. Dengan konfigurasi ini (seperti yang dilukiskan pada Gambar 1), jarak sumber serat ditampilkan sebagai h , diameter serat (yaitu, diameter luar myelin) d_o , dan diameter akson (diameter myelin internal) d_i . Panjang ruas ditunjuk sebagai l , dan rasio panjang ruas untuk diameter serat diasumsikan konstan (100). Model ini serupa dengan model telah diteliti oleh McNeal (1976). Model listrik yang bersesuaian dengan Gambar 1 dilukiskan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 diasumsikan bahwa arus transmembran besarnya terbatas hanya untuk wilayah nodal. Karya eksperimental lebih lanjut yang dirangkum oleh Chu dan Ritchie (1984), menunjukkan bahwa pada serat saraf mamalia saluran kalium yang ditemukan dalam aksosoma ruas. Ini tampak dalam memperkenalkan perbedaan kuantitatif tapi tidak kualitatif untuk model saraf katak ampibi yang sederhana dari Frankenhauser dan Huxley (1964), yang dijelaskan dalam Gambar 2. Kami akan menggunakan model yang terakhir karena kesederhanaan dan karakter kualitatifnya yang memadai.

Karena simpulnya relatif sempit, maka jaringan yang mewakili membran pada dasarnya dijelaskan oleh elemen parameter sejajar atau paralel. Hal ini secara keseluruhan ditampilkan sebagai suatu struktur paralel RC kecuali simpul pusat (simpul 0). McNeal beralasan bahwa untuk

rangsangan sampai pada ambang, semua simpul kecuali simpul pusat merespon cukup secara linear untuk membutuhkan representasi jaringan pasif. Hanya simpul pusat dijelaskan oleh ekspresi Frankenhauser dan Huxley (1964).

II. ANALISIS

Lintasan arus intraseluler aksial memperkenalkan hambatan antar simpul r_i , dengan

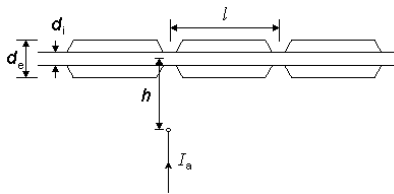
$$r_i = \frac{4 \rho_i l}{\pi d_i^2} \quad (1)$$

dengan r_i adalah resistansi intraseluler aksial per satuan panjang internodal [$k\Omega/l$]

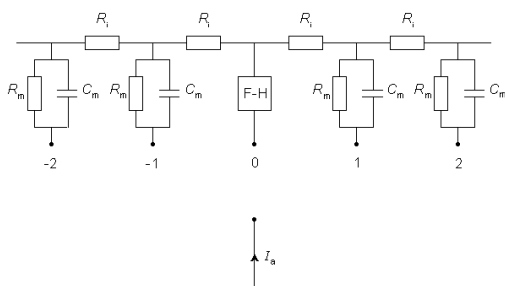
ρ_i = hambatan intrasellular [$k\Omega \cdot cm$]
(dibuat 0.1 $k\Omega \cdot cm$)

L = panjang internodal [cm]

d_i = diameter akson (diameter myelin internal) [cm]



Gambar. 1 Suatu stimulus arus titik I_a , yang terletak pada jarak h dari serat saraf mielin tunggal. Sebuah node dari Ranvier diasumsikan selaras dengan monopoli yang tereksitasi. Jarak ruas L berkaitan dengan diameter luar myelin, d_o (diameter serat) di mana $l = 100 \cdot d_o$.



Gambar 2. Model listrik dari serat mielinasi yang dieksitasi oleh sumber arus titik dengan kuat I_a . Node langsung di bawah sumber diberi label 0 dan membran dimodelkan oleh persamaan Frankenhauser-Huxley (FH).

McNeal mengasumsikan bahwa potensial pada sisi ekstraseluler membran simpul adalah tetap akibat bidang stimulasi. Karena hal yang terakhir ini adalah sumber titik yaitu, monopoli, maka medan potensial yang dieksitasi Φ_o adalah

$$\Phi_o = \frac{I_a}{4\pi \sigma_o r} \quad (2)$$

dimana Φ_o = medan potensial terapan [mV]

I_a = arus yang diberikan [μA]

σ_o = konduktifitas ekstra seluler medium [$k\Omega \cdot cm$]

r = jarak dari suatu simpul ke simpul yang lain [cm]

Formulasi ini pada dasarnya, memiliki anggapan bahwa serat itu memiliki sedikit pengaruh pada medan yang diberikan (yaitu, sumber sekunder pada permukaan serat mengatur bidang yang sangat lemah dibandingkan dengan Φ_o timbul dari I_a dan dijelaskan oleh Persamaan 2). Jika salah satu catatan bidang ekstraseluler sangat kecil yang dihasilkan oleh impuls saraf menyebarkan pada serat terisolasi (Plonsey, 1974), maka potensi ekstraseluler dari sumber sekunder (yang lebih kecil dari tindakan potensi sumber) tentu harus diabaikan.

Atas dasar jaringan dijelaskan pada Gambar 2 dan bidang terapan Persamaan 2 kita dapat menentukan respon untuk menaikkan arus dari berbagai besaran (hingga yang diperlukan untuk eksitasi pada node 0). Persamaan yang diselesaikan berdasarkan hukum Kirchhoff.

$$I_{m,n} = \frac{1}{r_i} (V_{i,n-1} - 2V_{i,n} + V_{i,n+1}) = C_m \frac{dV_{m,n}}{dt} + I_{i,n} \quad (3)$$

dimana $I_{m,n}$ = arus transmembran per luas simpul pada simpul ke n

$I_{i,n}$ = arus ion transmembran per luas simpul pada simpul ke n

$V_{m,n}$ = tegangan transmembran pada simpul ke n

C_m = kapasitansi membran per luas simpul pada simpul ke n

r_i = hambatan intra seluler per panjang antar simpul

Suku kedua dari persamaan 3 memperlihatkan perbedaan arus intraselular aksial yang memasuki simpul ke n (yaitu $(V_{i,n-1} - V_{i,n})/r_i$) dikurangi dengan arus yang meninggalkan simpul tersebut (yaitu $(V_{i,n} - V_{i,n+1})/r_i$); maka perbedaan ini telah diatur sama dengan arus transmembran yang berarah keluar dari simpul ke n (sisi kanan dari persamaan 3) yang memenuhi persamaan kekekalan arus. Kecuali pada $n = 0$ (yaitu simpul pusat yang diatur dengan persamaan Frankenhauser-Huxley) diasumsikan bahwa kondisi ambang akan berpengaruh di suatu tempat dan arus ionik akan diberikan oleh

$$I_{i,n} = \frac{V_n}{R_m} \quad (4)$$

dimana R_m = hambatan transmembran per satuan luas simpul (konstan)

Dengan menggunakan definisi tegangan transmembran

$V_n = V_{i,n} - V_{o,n}$ dalam persamaan 3 diperoleh

$$\frac{dV_{m,n}}{dt} = \frac{1}{C_m} \left[\frac{1}{r_i} (V_{m,n-1} - 2V_{m,n} + V_{m,n+1} + V_{o,n-1} - 2V_{o,n} + V_{o,n+1}) - \frac{V_{m,n}}{R_m} \right] \quad (5)$$

dimana dalam Persamaan 4 telah disubstitusi untuk $I_{i,n}$. Jika $n = 0$, maka diperoleh

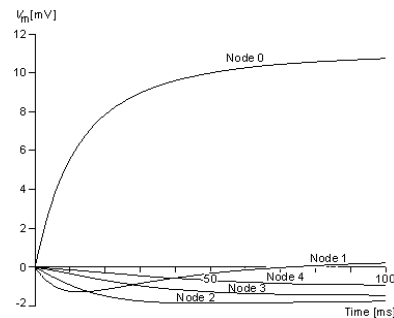
$$\frac{dV_{m,0}}{dt} = \frac{1}{C_m} \left[\frac{1}{r_i} (V_{m,-1} - 2V_{m,0} + V_{m,1} + V_{o,-1} - 2V_{o,0} + V_{o,1}) - \pi d_i v (g_{Na} + i_k) \right] \quad (6)$$

di mana v adalah lebar simpul, dan arus ionik yang ditemukan dari persamaan Frankenhauser-Huxley. Potensial simpul ekstraseluler di Persamaan 5 dan 6 yang ditemukan dari Persamaan 2, dan merupakan fungsi memaksa. Kami berasumsi bahwa saat ini merangsang diaktifkan pada $t = 0$ sehingga $V_{m,n} = 0$ untuk semua n pada $t = 0$; saat merangsang diasumsikan tetap selama interval waktu tertentu. Untuk stimuli yang subthreshold di semua node (termasuk node pusat), Persamaan 5 saja sudah cukup untuk menggambarkan respon dan dapat diterapkan juga di $n = 0$.

Solusi dari Persamaan 5 (untuk kondisi sub ambang) atau Persamaan 5 dan 6 (untuk kondisi dekat-ambang) pada $n = 0$ membutuhkan diskritisasi temporal dan solusi dari sistem yang dihasilkan dari persamaan dengan iterasi atau dengan teknik matriks. Tanggapan mapan untuk stimulus berkurang dengan cepat dengan peningkatan nilai n sehingga hanya jumlah terbatas node (yaitu, persamaan) perlu dipertimbangkan. Seseorang ingin menggunakan nomor terkecil; McNeal (1976) menyelidiki penggunaan total 11, 21, dan 31 node dan menemukan bahwa respon terhadap pulsa 1 ms adalah dalam akurasi 0,2% dengan hanya 11 node.

III. HASIL DAN DISKUSI

Respon terhadap sub ambang (pada semua simpul) untuk tiap arus dievaluasi pada simpul pusat dan keempat tetangganya digambarkan pada Gambar 3. Respon ini dihitung dari total 31 simpul dengan menggunakan parameter yang sama seperti yang dipilih oleh McNeal (lihat Tabel 1); hasil tampaknya identik dengan yang diperoleh McNeal dengan 11 node.



Gambar 3 Respon pada simpul pusat ($n = 0$) dan sebelah empat node untuk sumber titik yang berjarak 1 mm dari serat dan tereksitasi dengan arus 0,1 mA. Keadaan yang dijelaskan dalam Gambar 1. Adalah diameter serat 20 m, dan jarak ruas 2 mm.

Karena stimulus monopul diasumsikan katodal, arus meninggalkan simpul terdekat sementara, untuk melestarikan saat ini, saat harus memasuki node lateral. Ini menyumbang hyperpolarization node $\pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots$ dan depolarisasi dari simpul pusat. Perilaku simpul ± 1 perubahan sebagai kapasitansi membran mengisi. Awalnya itu hyperpolarized, namun potensi mapan yang (respon terhadap pulsa durasi yang sangat lama) adalah sebuah depolarisasi. Jika stimulus yang anodal, maka tanda-tanda dari semua tanggapan pada Gambar 3 akan terbalik; awal depolarisasi terbesar terjadi pada node ± 1 , tapi setelah sekitar

15 ms depolarisasi terbesar di ± 2 . Sehingga eksitasi yang dihasilkan dari durasi stimulus dari $t \leq 15$ ms dan untuk $t > 15$ ms terjadi pada node yang berbeda.

Tabel 1. Sifat Listrik dari serabut saraf mielin

Simbol	Parameter	Nilai
ρ_i	resistifitas axoplasm	0.11 k Ω ·cm
ρ_o	resistivitas seluler	0.3 k Ω ·cm
C_m	kapasitansi membran simpul/ satuan luas	2.0 μ F/cm ²
G_m	konduktansi membran simpul/ satuan luas	0.4 mS/cm ²
N	lebar gap simpul	0.5 μ m
l / d_o	rasio antar simpul dengan diameter fiber	100
d_i / d_o	rasio diameter akson dengan fiber diameter	0.7
R_{mn}	hambatan membran simpul $1/(G_m \pi d_i v)$	29.9 M Ω
C_{mn}	kapasitansi membran simpul $= C_m \pi d_i v$	2.2 pF
r_{il}	hambatan antar simpul $= 4\rho_i l / (\pi d_i^2)$	14.3 M Ω

IV. KESIMPULAN

Sebagian besar elektroda yang ditanamkan ke dalam tubuh karena rangsangan trans kutan membutuhkan arus tingkat tinggi dan dapat mengakibatkan kerusakan jaringan lokal dan eksitasi saraf yang tidak diinginkan. Oleh karena itu bahan elektroda terbatas pada orang-orang yang pada dasarnya inert seperti platinum, platinum-iridium, dan baja. Akibat dari hasil yang kurang baik dari elektroda yang fleksibel; sehingga kabel berdiameter kecil lebih baik. Penggunaan kabel terterisolir merupakan langkah lebih lanjut yang berguna untuk mengurangi kerusakan.

REFERENSI

- [1] Chu, Ritchie (1984): On the physiological role of internodal. *Proc. Roy. Soc. (London)* B 220: 415-22.
- [2] Frankenhauser, Huxley (1964): The action potential in the myelinated nerve fibre of *Xenopus Laevis* as computed on the basis of voltage clamp data. *J. Physiol. (Lond.)* 171: 302-15.
- [3] Malmivuo, J, Plonsey R. (1995), Bio-electromagnetism, Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields, *Oxford University Press*.
- [4] McNeal DR (1976): Analysis of a model for excitation of myelinated nerve. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* BME-23:(4) 329-37.
- [5] Mortimer JT (1981): Motor prostheses. In *Handbook of Physiology, Section 1: The Nervous System. Motor Control Part I*, Vol. II, pp. 155-87, American Physiological Society, Bethesda, Md.
- [6] Plonsey R (1974): The active fiber in a volume conductor. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* BME-21:(5) 371-81.
- [7] Seligman LJ (1982): Physiological stimulators: From electric fish to programmable implants. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* BME-29:(4) 270-84.

Konstruksi Matriks Global Bangun Segi Empat dalam Metode Elemen Hingga

Eko Juarlin^{1,*} dan Irene Devi Damayanti²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, ² PPS Matematika Universitas Hasanuddin

*Email: eko_juarlin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sebuah teknik untuk memindahkan matriks lokal elemen segi empat ke matriks global sistem menggunakan elemen hingga diaplikasikan. Pemindahan di sini berarti pemindahan nomor lokal elemen segi empat ke nomor global sebuah sistem. Teknik itu menggunakan pemetaan. Ada dua langkah utama, yaitu: mencatat pola nomor lokal elemen 1, 2, 3 dan 4 mengisi nomor berapa saja di nomor matriks global dan menjumlahkan antara matriks global elemen pertama, elemen kedua, elemen ketiga sampai elemen terakhir.

Kata Kunci: Bangun Segi Empat, Matriks Global, Matriks Lokal, Metode Elemen Hingga.

I. PENDAHULUAN

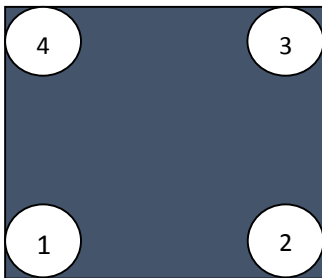
Dalam menyelesaikan persamaan diferensial menggunakan metode elemen hingga selain sub metode aproksimasi, digunakan matriks sebagai sarana mendapatkan solusi sistem. Ada proses pemindahan matriks lokal yang sudah terbentuk ke dalam matriks global. Proses pemindahan ini sedikit susah jika pola pemindahan nomor lokal ke dalam nomor global tidak diketahui. Teknik pemindahan untuk elemen segitiga telah dijelaskan oleh Talal dalam [1].

Materi dalam makalah ini adalah penyajian konstruksi matriks global sebuah sistem dari matriks lokal sebuah elemen yang berbentuk segi empat dengan menggunakan teknik pemetaan.

II. MATRIKS LOKAL SEBUAH ELEMEN

Matriks lokal sebuah elemen seperti dalam gambar 1, dapat dituliskan:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

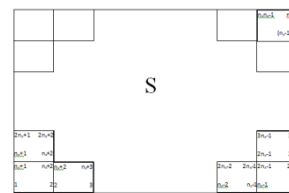


Gambar 1. Sebuah Elemen dan Nomor Lokal dalam Elemen

Matriks lokal di persamaan 1 memiliki ukuran 4×4 sesuai dengan jumlah titik lokal dalam elemen. Penomoran lokal elemen bisa dilakukan secara bebas konsisten. Dalam makalah ini, diambil cara penomoran lokal berlawanan arah jarum jam mulai dari kiri bawah seperti dalam gambar 1.

III. PENOMORAN GLOBAL SISTEM

Sebuah sistem dua dimensi memenuhi sembarang persamaan diferensial. Sistem tersebut dibagi menjadi sejumlah elemen sepanjang sumbu x dan sumbu y. Jumlah titik diskritisasi sumbu x adalah n_x dan sumbu y adalah n_y . Jumlah titik diskritisasi sebuah sistem adalah n yang dirumuskan $n = n_x \times n_y$. Gambar 2 menunjukkan sebuah sistem S beserta elemen di dalamnya dan nomor global sistem.



Gambar 2. Penomoran Global Sistem

Pengaturan peletakkan elemen adalah sebagai berikut: elemen nomor satu diletakkan di pojok kiri bawah sistem lalu nomor elemen bergerak ke kanan. Setelah elemen tiba di pojok kanan bawah, elemen berikutnya berada di sebelah kiri baris di atasnya. Nomor elemen bergerak ke kanan di baris tersebut hingga ke ujung kanan sistem. Nomor elemen berikutnya berada di pojok kiri baris di atasnya, lalu nomor elemen bergerak ke kanan di baris tersebut, dan seterusnya.

IV. TEKNIK PEMETAAN

Salah satu teknik yang digunakan untuk memindahkan nomor elemen lokal ke nomor elemen global adalah teknik pemetaan. Pemetaan dalam makalah ini, yaitu menentukan pasangan nomor global sistem dan nomor lokal elemen.

Nomor lokal 1 elemen pada sistem di gambar 2, berpasangan dengan nomor global 1, 2, 3, ..., n_x-1 , n_x+1 , ..., $2n_x-1$, $2n_x+1$, ..., $3n_x-1$, ..., $(n_y-1)n_x-1$. Pola bilangan pemetaan nomor lokal terhadap nomor global dijelaskan melalui nomor lokal 1 berpasangan dengan nomor global:

$$(0)n_x+1, (0)n_x+2, \dots, (0)n_x+n_x-1, (1)n_x+1, \dots, (1)n_x+n_x-1, (2)n_x+1, \dots, (2)n_x+n_x-1, \dots, (n_y-2)n_x+1, \dots, (n_y-2)n_x+n_x-1 \quad (2)$$

Nomor lokal 2 elemen pada sistem di gambar 2, berpasangan dengan nomor global 2, 3, 4, ..., n_x , n_x+2 , ..., $2n_x$, $2n_x+2$, ..., $3n_x$, ..., $(n_y-1)n_x$. Pola bilangan pemetaan nomor lokal terhadap nomor global dijelaskan melalui nomor lokal 2 berpasangan dengan nomor global:

$$(0)n_x+2, (0)n_x+3, \dots, (0)n_x+n_x, (1)n_x+2, \dots, (1)n_x+n_x, (2)n_x+2, \dots, (2)n_x+n_x, \dots, (n_y-2)n_x, \dots, (n_y-2)n_x+n_x \quad (3)$$

Nomor lokal 3 elemen pada sistem di gambar 2, berpasangan dengan nomor global n_x+1 , n_x+2 , n_x+3 , ..., n_x+n_x-1 , $2n_x+1$, ..., $2n_x+n_x-1$, $3n_x+1$, ..., $4n_x-1$, ..., $(n_y)n_x-1$. Pola bilangan pemetaan nomor lokal terhadap nomor global dijelaskan melalui nomor lokal 3 berpasangan dengan nomor global:

$$(1)n_x+1, (1)n_x+2, \dots, (1)n_x+n_x-1, (2)n_x+1, \dots, (2)n_x+n_x-1, (3)n_x+1, \dots, (3)n_x+n_x-1, \dots, (n_y-1)n_x+1, \dots, (n_y-1)n_x+n_x-1 \quad (4)$$

Nomor lokal 4 elemen pada sistem di gambar 2, berpasangan dengan nomor global n_x+2 , n_x+3 , n_x+4 , ..., n_x+n_x , $2n_x+1$, ..., $2n_x+n_x-1$, $3n_x+1$, ..., $4n_x-1$, ..., $(n_y)n_x-1$. Pola bilangan pemetaan nomor lokal terhadap nomor global dijelaskan melalui nomor lokal 4 berpasangan dengan nomor global:

$$(1)n_x+2, (1)n_x+3, \dots, (1)n_x+n_x, (2)n_x+2, \dots, (2)n_x+n_x, (3)n_x+2, \dots, (3)n_x+n_x, \dots, (n_y-1)n_x, \dots, (n_y-1)n_x+n_x \quad (5)$$

V. SUBSTITUSI MATRIKS LOKAL KE MATRIKS GLOBAL

Matriks global bisa dibuat dari hasil pemetaan. Ukuran matriks global adalah $n_x \times n_y$ baris dan $n_x \times n_y$ kolom. Nilai matriks lokal komponen 1,1 disubstitusi ke dalam baris dan kolom nomor global yang bersesuaian. Matriks proses itu dijumlahkan dengan nilai matriks lokal komponen 1,2 disubstitusi ke dalam baris dan kolom nomor global yang bersesuaian. Proses substitusi berlangsung terus sampai matriks lokal komponen 4,4. Setelah proses selesai, matriks global didapatkan.

VI. KESIMPULAN

Teknik pemetaan bisa diterapkan untuk menentukan relasi antara nomor lokal dengan nomor global dalam metode elemen hingga. Urutan teknik solusinya adalah: 1. Membuat sistem yang tersusun atas banyak elemen lalu memberi nomor global dan nomor lokal di titik dalam system itu 2. Melakukan pemetaan antara sebuah nomor lokal dengan sejumlah nomor global yang merupakan anggota pemetaannya 3. Mensubstitusikan setiap komponen matriks lokal ke dalam matriks global 4. Menjumlahkan matriks global yang berasal dari semua komponen matriks lokal.

REFERENSI

- [1] Talal Rahman, Jan Valdman, Fast MATLAB Assembly of FEM Matrices in 2D and 3D: Nodal Elements, 2013, Applied Mathematics and Computation Series 21.

Karakteristik Batu Bata Tanpa Pembakaran Berbahan Abu Sekam Padi dan Kapur Banawa

Darmawati Darwis*, Syahrul Ulum dan Gali Kurniawan

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Tadulako

*Email: darmadarwis@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik batu bata tanpa pembakaran yaitu kuat tekan dan kadar resapan air. Batu bata tanpa pembakaran ini dibuat dari tanah liat yang dicampurkan dengan semen, abu sekam padi dan kapur Banawa. Batu bata dibuat dalam lima variasi campuran dengan komposisi kapur dan abu sekam padi berbeda-beda untuk tiap campurannya. Persentase kapur dan abu sekam padi sebanyak 30% dari massa total campuran. Selebihnya campuran terdiri dari 60% tanah liat dan 10% semen dari persentase massa campuran. Pengujian dilakukan pada umur batu bata 28 hari. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kuat tekan optimum batu bata tanpa pembakaran yang dibuat adalah 21,20 kg/cm² yang diperoleh pada campuran kapur dan abu sekam padi dengan perbandingan 22,5% : 7,5%, dan memiliki kadar resapan air sebesar 36,19.

Kata Kunci: Batu bata, abu sekam padi, kapur, kuat tekan, kadar resapan air.

I. PENDAHULUAN

Batu bata merupakan salah satu bahan terpenting dalam konstruksi suatu bangunan. Pada umumnya batu bata berbahan dasar tanah liat dengan atau tambahan-bahan lain, dibakar pada suhu tinggi hingga batu bata tidak mudah hancur bila direndam dalam air. Mula-mula tanah liat dibuat plastis dan dicetak dalam cetakan kayu atau baja. Tanah hasil cetakan itu kemudian dikeringkan, dan lalu dibakar pada suhu tinggi.

Proses pembuatan batu bata pada umumnya membutuhkan pembakaran pada suhu tinggi (hingga 1000 °C) dengan menggunakan bahan bakar berupa kayu bakar dan minyak tanah (Kusuma, 2013). Hal tersebut dapat mengakibatkan pencemaran udara karena emisi gas karbon monoksida dari tungku pembakaran batu bata, yang dapat mengakibatkan polusi udara dan mengakibatkan efek rumah kaca (rusaknya lapisan ozon) pada bumi (Pohan, 2002). Oleh karena itu, dewasa ini penelitian untuk menghasilkan batu bata tanpa proses pembakaran yang layak pakai dan berkualitas baik makin sering dilakukan (Sudarsana, 2011). Sebagai contoh adalah pembuatan batu bata dengan pencampuran abu sekam padi dan kapur.

Abu sekam padi merupakan limbah pertanian yang pemanfaatannya sangatlah jarang, yang dikarenakan bernilai gizi rendah dan memiliki kadar abu yang cukup tinggi yaitu sekitar 23% (Della dkk, 2002). Abu tersebut mengandung silika dengan kadar yang sangat tinggi yaitu sekitar antara 90 - 95%, dengan tingkat porositas yang tinggi, ringan dan permukaan eksternal yang luas sangat cocok untuk bahan campuran dalam pembuatan batu bata Setyoko, 2011). Dalam pembuatan batu

bata tanpa pembakaran diperlukan kapur untuk mengikat butir-butir tanah liat. Kapur merupakan sumber daya mineral yang sangat mudah didapatkan di Kecamatan Banawa. Menurut Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Tengah, cadangan kapur yang dimiliki Kecamatan Banawa Kabupaten Donggala adalah 500.000.000 m³ dengan kadar CaO rata-rata 53% (Pemerintah Provinsi Sulawesi Tengah, 2011). Pemanfaatan kapur di Kecamatan Banawa selama ini terbatas pada sebagai bahan campuran semen untuk konstruksi bangunan rumah masyarakat. Oleh karena itu kapur banawa berpotensi untuk dijadikan campuran batu bata tanpa pembakaran.

Batu bata tanpa pembakaran dibuat dengan bahan yang memiliki sifat mengikat dengan tanah liat atau yang mengandung silika dan alumina. Bahan yang dapat ditambahkan pada batu bata tanpa pembakaran diantaranya adalah abu sekam padi, semen, batu tabas (Sudarsana, 2011), kapur (Isnandar dalam Sudarsana, 2011), *fly ash* dan bahan *pozzolan* lainnya (Junior dkk, 2003).

Penelitian yang dilakukan oleh Ketut Sudarsana dkk. di Denpasar membuat batu bata tanpa pembakaran dengan bahan dasar tanah liat yang dicampurkan dengan *binder* yang terdiri dari semen, abu sekam padi dan batu tabas (limbah yang mengandung unsur Ca⁺). Kuat tekan yang terbesar didapatkan yaitu 22,41 kg/cm² dengan komposisi 60% tanah liat + 7,5% serbuk batu tabas + 22,5% abu sekam padi + 10% semen pada umur batu bata 28 hari (Sudarsana, 2011).

Dallacort membuat batu bata dengan mencampur tanah dengan semen, pecahan keramik dan sejumlah bahan pengikat (*binder*). Pecahan keramik digunakan sebagai pengganti semen

Portland dalam campuran bahan pembuat batu bata. Kuat tekan batu bata pada umur 14 hari yang didapatkan melalui penelitian ini berkisar antara 2 - 3,5 MPa (Dallacort dkk. *dalam Junior dkk.*, 2003).

Penelitian yang dilakukan oleh Junior di Brazil, menggunakan limbah berupa pecahan keramik dari industri pembuatan batu bata. Pada penelitian tersebut digunakan dua jenis perekat yaitu semen Portland dan campuran dari klinker Portland, gipsum, *limestone filler* dan bahan *pozzolan*. Campuran tersebut dibuat dalam tiga macam komposisi dengan kecenderungan untuk mengurangi penggunaan semen dan menambah pecahan keramik dan campuran perekat. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur batu bata 34 hari dan nilai kuat tekan yang diperoleh berkisar 2,19 - 3,07 Mpa (Junior dkk, 2003).

Isnandar melakukan penelitian mengenai batu bata tanpa pembakaran yang dinamakan batu bata cetak pasir. Pada penelitian tersebut batu bata dibuat dengan mencampurkan kapur dan pasir. Pada penelitian tersebut batu bata dengan komposisi kapur dan pasirnya adalah 1 : 3, 1 : 4, dan 1 : 5. Komposisi kapur yang lebih banyak menghasilkan batu bata dengan kuat tekan yang lebih baik (Isnandar dkk *dalam Sudarsana*, 2011).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan ketersediaan bahan pembuat batu bata tanpa pembakaran, maka dilakukan penelitian mengenai pembuatan batu bata tanpa pembakaran. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tanah liat yang dicampur dengan bahan perekat berupa campuran abu sekam padi, kapur Banawa, semen dan air, hingga didapatkan batu bata yang memiliki sifat mekanis yang sesuai persyaratan, baik kuat tekannya dan kadar resapan airnya, juga prosesnya yang dapat mengurangi jumlah gas karbon monoksida yang dihasilkan dari proses pembakaran dengan suhu tinggi.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Energi Fakultas MIPA dan Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik, Universitas Tadulako Palu. Pelaksanaannya berlangsung pada bulan Agustus sampai September 2014. Tanah liat yang digunakan adalah tanah liat yang dipakai oleh pengrajin batu bata di Kecamatan Mantikulore Kota Palu. Selanjutnya dilakukan pengujian batas atterberg pada tanah liat tersebut. Pengujian batas atterberg dilakukan untuk mengetahui batas plastis, batas cair dan indeks plastisitas dari tanah liat. Pengujian ini juga bertujuan untuk menentukan

kadar air yang akan digunakan dalam pembuatan batu bata. Kadar air optimum yang digunakan pada pembuatan batu bata disesuaikan dengan batas plastis dari tanah liat.

Bahan pembuat batu bata tanpa pembakaran (tanah liat, kapur dan abu sekam padi) dihancurkan dengan menggunakan blender. Setelah itu bahan disaring dengan menggunakan saringan nomor 200 hingga didapatkan bahan berbentuk serbuk halus. Seluruh bahan pembuat batu bata yang telah disaring, dicampurkan dengan sendok pengaduk hingga campuran merata. Campuran batu bata dibagi lima jenis yaitu:

- 1) Campuran A (tanah liat 60%, kapur 0%, abu Sekam padi 30% dan semen 10%)
- 2) Campuran B (tanah liat 60%, kapur 7,5%, abu sekam padi 22,5% dan semen 10%)
- 3) Campuran C (tanah liat 60%, kapur 15%, abu sekam padi 15% dan semen 10%)
- 4) Campuran D (tanah liat 60%, kapur 22,5%, abu Sekam padi 7,5% dan semen 10%)
- 5) Campuran E (tanah liat 60%, kapur 30%, abu sekam padi 0% dan semen 10%)

Pada masing-masing campuran ditambahkan air dan setelah itu adonan diremas sampai adonan menjadi cukup liat. Adonan dicetak pada cetakan berbentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm. Pada bagian atas cetakan diberi beban yang sama, agar tekanan pada saat mencetak batu bata konstan untuk tiap sampelnya. Batu bata dikeringkan pada suhu ruang selama 28 hari. Pengeringan batu bata dilakukan selama 28 hari, karena diharapkan pada umur tersebut batu bata telah mencapai kekuatan maksimal (Sudarsana, 2011).

Batu bata yang telah dikeringkan, ditimbang massanya dan diukur panjang sisinya. Setelah pengukuran tersebut dilakukan pengujian kuat tekan dan kadar resapan air dari batu bata. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *unconfined compression test* di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako. Sampel diletakkan di antara pelat dasar dan pelat atas. Sampel ditekan dengan cara memutar tuas pemutar (engkol), penekanan terus dilakukan sampai arloji penunjuk beban mencapai dengan membagi beban terkoreksi dengan luas sampel terkoreksi.

Pengujian kadar resapan air merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk mengetahui persentase massa air yang terserap oleh batu bata. Batu bata dioven selama 24 jam dengan suhu 110°C. Setelah itu, sampel yang telah dioven ditimbang dan mencatat massanya sebagai massa

sampel kering. Sampel dimasukkan ke dalam baskom yang berisi air dan direndam selama 24 jam. Sampel yang telah direndam diangkat dan kemudian ditimbang massanya sebagai massa sampel basah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Batas *Atterberg*

Hasil pengujian batas *atterberg* dari tanah yang berasal dari Kecamatan Mantikulore Kota Palu adalah batas plastis sebesar 22,36%, batas cair sebesar 33,71%, dan indeks plastis sebesar 11,35%. Berdasarkan Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO) untuk tanah lempung dengan fraksi No. 40 indeks plastisnya minimal 11%. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung (liat) dan dapat digunakan untuk membuat batu bata.

Kuat Tekan

Tabel 1 Nilai kuat tekan untuk masing-masing campuran.

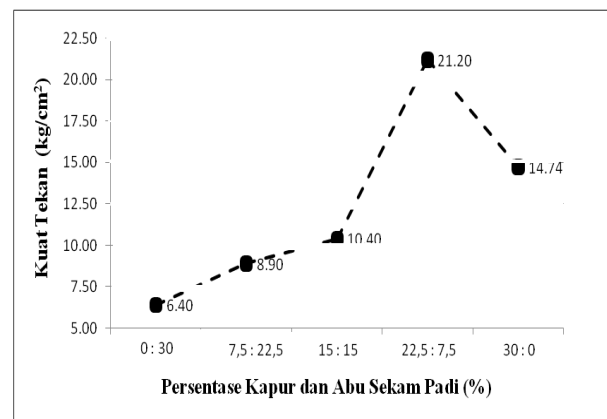
Sampe l	Persentase Kapur : Abu Sekam Padi (%)	Tegangan Maksimum/ uat Tekan (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata- rata (kg/cm ²)
A ₁₁	0 : 30	7,043	6,40
A ₁₂		6,600	
A ₁₃		5,559	
B ₁₁	7,5 : 22,5	8,906	8,90
B ₁₂		8,197	
B ₁₃		9,583	
C ₁₁	15 : 15	12,500	10,40
C ₁₂		10,220	
C ₁₃		8,483	
D ₁₁	22,5 : 7,5	22,860	21,20
D ₁₂		11,490	
D ₁₃		29,250	
E ₁₁	30 : 0	13,430	14,73
E ₁₂		14,110	
E ₁₃		16,679	

Kuat tekan dari suatu bahan bangunan merupakan karakteristik yang sangat menentukan kualitas suatu bahan tersebut. Kuat tekan (kg/cm²) dari bahan diperoleh dengan membagi beban maksimum (kg) dengan luas bidang tekan (cm²).

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa kuat tekan tertinggi diperoleh dari sampel D₁₃ dengan kadar

kapur dan abu sekam padi yaitu 22,5% : 7,5%. Untuk mempermudah menganalisa data, nilai kuat tekan dari masing-masing campuran dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti tampak pada Gambar 1. Grafik tersebut menunjukkan hubungan komposisi kapur : abu sekam padi, dengan nilai kuat tekan dari batu bata.

Berdasarkan Gambar 1, hubungan nilai kuat tekan terhadap persentase kapur dan abu sekam padi menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi adalah sebesar 21,20 kg/cm². Hal ini dipengaruhi oleh komposisi abu sekam padi pada campuran yang tepat, dimana pada penambahan abu sekam padi sebanyak 2,5% sampai dengan 10% dapat meningkatkan kuat tekan, karena abu sekam padi sebagai bahan tambahan dapat digunakan sebagai perekat yang baik dengan mencampurkannya pada semen atau kapur (Susanti, 2005).



Gambar 1. Grafik hubungan nilai kuat tekan terhadap tiap persentase campuran kapur dan abu sekam padi.

Setelah mencapai kuat tekan tertinggi (campuran D₁) kuat tekan batu bata cenderung menurun seiring dengan penambahan abu sekam padi. Penambahan abu sekam padi yang terlalu banyak (di atas 10%) akan mengakibatkan menurunnya densitas karena porositas sekam padi yang tinggi, dan dapat membuat terlalu banyak rongga pori pada batu bata yang berpengaruh pada menurunnya kekuatan (Bakri, 2012). Penambahan abu sekam padi yang terlalu banyak juga dapat mengakibatkan proses terbentuknya kalsium silika hidrat (CSH) terhambat karena rasio CaO dan SiO₂ yang semakin tidak proporsional (Bakri, 2012). Hal tersebut ditunjukkan pada grafik di atas, dimana nilai kuat tekan terus bertambah seiring dengan berkurangnya persentase abu sekam padi pada campuran A₁, campuran B₁ dan campuran C₁, dan D₁ dengan nilai kuat tekan berturut-turut 6,40 kg/cm², 8,90 kg/cm², 10,40 kg/cm² dan 21,20 kg/cm².

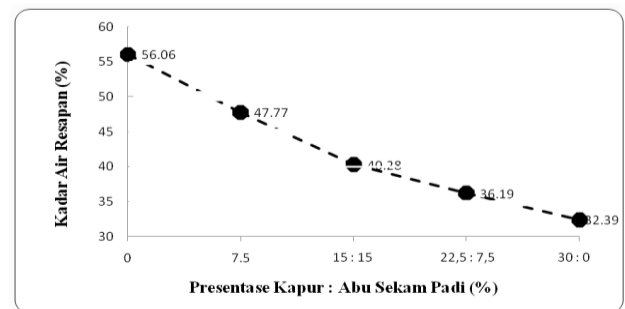
Gambar 1 juga menunjukkan penambahan kapur pada batu bata cenderung dapat meningkatkan kekuatan, karena kapur mengandung banyak CaO yang dapat bereaksi dengan silika (SiO_2) pada tanah liat dan abu sekam padi sehingga membentuk ikatan kimia yang netral berupa kalsium silika hidrat (CSH) apabila dicampurkan dengan air (Sudarsana, 2011). Tetapi pada campuran E_1 kuat tekan batu bata yaitu $14,74 \text{ kg/cm}^2$, cenderung menurun dari kuat tekan campuran D_1 . Hal tersebut disebabkan oleh penambahan 30% kapur pada campuran mengakibatkan bertambahnya kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan saat kapur dan semen bereaksi dengan air. Semakin banyak kalsium hidroksida yang terbentuk, maka daya rekat dari binder akan berkurang sehingga struktur di dalam bata akan lemah dan menyebabkan kuat tekannya rendah (Reni, 2009). Kuat tekan batu bata sampel D_{31} yaitu sebesar $29,25 \text{ kg/cm}^2$, telah memenuhi Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI-1982), dimana kuat tekan minimal dari batu bata adalah 25 kg/cm^2 .

Tabel 2 Nilai kadar resapan air untuk masing-masing campuran

Sampel	Persentase Kapur : Abu Sekam Padi (%)	Kadar resapan air (%)	Kadar resapan air Rata-rata (%)
A_{21}	0 : 30	56,725	56,06
A_{22}		54,579	
A_{23}		56,883	
B_{21}	7,5 : 22,5	47,772	47,77
B_{22}		42,017	
B_{23}		53,526	
C_{21}	15 : 15	39,626	40,28
C_{22}		40,326	
C_{23}		40,904	
D_{21}	22,5 : 7,5	36,862	36,19
D_{22}		37,244	
D_{23}		34,489	
E_{21}	30 : 0	31,740	32,39
E_{22}		34,592	
E_{23}		30,836	

Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar resapan air tertinggi diperoleh dari campuran A_2 . Untuk mempermudah menganalisa data, nilai kadar air resapan dari masing-masing campuran dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana terlihat pada Gambar 2 Grafik tersebut menunjukkan

hubungan komposisi kapur : abu sekam padi, dengan nilai kadar resapan air dari batu bata. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa kadar resapan air batu bata akan menurun seiring dengan berkurangnya persentase abu sekam padi. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya porositas dari abu sekam padi yang dapat membentuk banyak ruang kosong atau zona interfasial. Saat proses perendaman pada uji kadar resapan air, zona interfasial ini akan terisi oleh air sehingga massa batu bata dalam keadaan basah akan bertambah dan nilai kadar resapan air semakin tinggi (Sudarsana, 2011).



Gambar 2. Grafik hubungan nilai kadar resapan air terhadap tiap persentase campuran kapur dan abu sekam padi.

Nilai kadar resapan air terendah pada penelitian ini adalah 32,39 %, dengan kadar kapur dan abu sekam padi yaitu 30% : 0%. Untuk batu bata dengan kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu campuran D_1 ($21,20 \text{ kg/cm}^2$), nilai kadar resapan airnya adalah 36,19%. Nilai kadar air resapan air tersebut belum memenuhi Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI-1982), dimana kadar resapan air maksimal untuk batu bata sebesar 20%. Akan tetapi nilai kadar resapan air yang diperoleh pada penelitian ini masih lebih baik dibandingkan dengan nilai kadar resapan air batu bata tanpa pembakaran yang dibuat oleh Sudarsana dkk (2011), yaitu sebesar 61,08 % dengan kuat tekan $22,90 \text{ kg/cm}^2$.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan serta tujuan penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat tekan rata-rata terbesar batu bata tanpa pembakaran yang diperoleh adalah $21,20 \text{ kg/cm}^2$ dengan kadar resapan air rata sebesar 36,19%, yang diperoleh pada campuran D_1 dengan persentase kapur dan abu sekam padi yaitu 22,5% : 7,5%.
2. Kadar air resapan air rata-rata batu bata tanpa pembakaran terendah adalah 32,39%, yang diperoleh pada campuran E_2 dengan

- perbandingan persentase kapur dan abu sekam padi yaitu 30% : 0%.
3. Setiap penambahan 7,5% abu sekam padi akan meningkatkan kadar resapan air batu bata tanpa pembakaran sebesar $\pm 5,89\%$.

REFERENSI

- [1] Bakri, 2008, *Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai SCM Untuk Pembuatan Komposit Semen*, Laboratorium Keteknikan dan Diversifikasi Produk Hasil Hutan Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [2] Bakri dan Baharudin, 2009, *Absorpsi Air Komposit Semen Sekam Padi dengan Penambahan Pozzolan Abu Sekam Padi dan Kapur pada Matriks Semen*, Laboratorium Pemanfaatan Hasil Hutan Fakultas kehutanan Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [3] Della, V.P., Kuhn, I. and Hotza, D., 2002, *Rice Husk Ash as an Alternate Source for Active Silica Production*, Materials Letters, vol.57 : 818–821, Elsevier.
- [4] Junior L., Humberto C., Fabio L., Willrich and Normando B.P., 2003, *Structural Behavior of Load Bearing Brick Walls of Soil- Cement with the Addition of Ground Ceramic Waste*, R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, v.7, n.3, : 552-558, Campina Grande.
- [5] Kusuma D., 2013, *Rekayasa Tanah Liat Menjadi Keramik*, (<http://dwikusumadpu.wordpress.com/2013/05/08/rekayasa-tanah-liat-menjadi-keramik/#more-681>), diakses pada tanggal 4 oktober 2013.
- [6] Laboratorium Struktur dan Beton, 2010, *Laporan Praktikum Uji Bahan Konstruksi*. Fakultas Teknik Universitas tadulako, Palu.
- [7] Marzuki, P.F. dan Jogaswara, E., 2007, *Potensi Pembuatan Semen Alternatif Berbahan Kapur Padalarang dan Fly ash Suralaya Untuk Konstruksi Rumah Sederhana*, FTSL ITB, Bandung.
- [8] Maya, L.W, Rauf, N. dan Tahir, D., 2012, *Pemanfaatan Biopozzolan Abu Sekam Padi Sebagai Fly ash Dalam Pembuatan Semen Untuk Meningkatkan Kualitas Fisis Mortar*, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [9] Pemerintah Provinsi Sulawesi Tengah, 2011, *Potensi Sektor Pertambangan dan Energi Sulawesi Tengah*, (<http://www.perwakilan.sultengprov.go.id/tambang.php>), diakses tanggal 5 oktober 2013.
- [10] Pohan, N., 2002, *Pencemaran Udara dan Hujan Asam*, Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara, Medan..
- [11] Reni, Y.C., Hastuti, R. dan Darmawan, A., 2009, *Kajian pengaruh penambahan Kalsium Oksida (CaO) Terhadap Suhu Reaksi dan Kuat Tekan Semen Portland*, Fakultas Mipa Universitas Diponegoro, Semarang.
- [12] Setyoko, P., 2011, *Pemanfaatan Silika (SiO₂) Dalam Ampas Tebu Pabrik Gula Dan Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batu Bata Tanpa Pembakaran*, (<https://priyosetyoko.wordpress.com/2011/10/05/batu-bata-tanpa-pembakaran/>), diakses pada tanggal 6 oktober 2013.
- [13] Sudarsana, K., Budiwati, A. dan Angga W.Y., 2011, *Karakteristik Batu bata Tanpa Pembakaran Berbahan Abu Sekam Padi dan Serbuk Batu Tabas*, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- [14] Sudarwo, M., 2010, *Studi Kelayakan Usaha Batu bata Merah EV Pragi di Depok II Timur*, Universitas Gunadarma, Depok.
- [15] Susanti, D. R., 2009, *Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dengan Bahan Abu Sekam Padi dan Penambahan Zat Plasticizier*, FTSP Institut Teknik Medan, Medan.
- [16] Swastikawati, A., 2012, *Standar Pengujian Kualitas Bata pengganti*, Balai Konservasi Peninggalan Bوروبudur, Yogyakarta.

Pengembangan LKPD Listrik Arus Searah Berbasis Keterampilan Proses Sains

Herman*

Prodi Pendidikan Fisika UNM, Jl. Dg.Tata. Jurusan Fisika Kampus UNM Parangtambung, Makassar 90223

*Email:herman@unm.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini merupakan hasil *Research and Development (R & D)* yang bertujuan untuk menghasilkan perangkat pembelajaran berupa Lembar kerja Peserta Didik (LKPD) fisika tingkat SMA berbasis keterampilan proses sains. Prosedur pengembangan perangkat mengikuti model pengembangan 4-D dari Thiagarajan dkk, yang terdiri dari *define, design, develop, dan disseminate*. Model/kerangka LKPD yang dihasilkan terdiri dari judul, pertanyaan penyelidikan, pertanyaan analisis dan pembahasan, dan pertanyaan penyimpulan. Model/kerangka ini meminimalkan pernyataan tuntunan seperti dalam bentuk penuntun praktikum (yang mirip "resep kue"). Hasil validasi dua orang pakar/ahli dan dua orang praktisi (guru fisika) menunjukkan perangkat telah memenuhi kriteria valid. Uji coba terbatas perangkat untuk materi listrik arus searah menunjukkan bahwa perangkat memenuhi kriteria praktis dan efektif. Kelancaran penggunaan LKPD oleh Guru dalam pembelajaran sangat didukung oleh buku panduan penggunaan LKPD. Melalui LKPD tersebut, keterampilan proses sains peserta didik dalam merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, mengidentifikasi alat dan bahan, menuliskan langkah kerja, dan menemukan konsep fisika dengan menjawab pertanyaan dalam LKPD dapat diukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat yang telah dihasilkan telah memenuhi kriteria valid, praktis dan efektif sehingga dapat diterapkan dalam pembelajaran.

Kata Kunci: LKPD, keterampilan proses sains, fisika, listrik arus searah

I. PENDAHULUAN

Fisika sebagai salah satu bidang sains yang menekankan pada kegiatan ilmiah di laboratorium memerlukan perangkat yang dapat dioperasionalkan dalam pembelajaran. Salah satu perangkat yang dimaksud adalah **Lembar Kerja Peserta Didik** yang disebut **LKPD**. Praktek penggunaan LKPD atau yang lebih umum dikenal dengan nama LKS di lapangan (yang digunakan guru) merupakan kumpulan, materi, contoh soal, dan soal latihan. Tidak sedikit guru yang menggunakan lembar kerja/LKS ini sebagai bagian penting dalam pengelolaan pembelajaran. Menurut pengamatan penulis isi lembar kerja/LKS ini, lebih menekankan pada latihan soal-soal, atau lebih hanya pada aspek kognitif itu pun hanya pada penerapan/aplikasi konsep. Dengan demikian maka penulis berpendapat bahwa kegiatan dalam lembar kerja/LKS yang ada belum dapat mengakomodasi pengembangan ranah sikap, pengetahuan secara utuh, dan keterampilan. Lembar kerja/LKS yang ada belum mengakomodasi pendekatan ilmiah (*scientific*) dalam kurikulum 2013.

Uraian di atas bersesuaian dengan hasil penelitian Wattimena, et al. 2014 yang mengindikasikan adanya penggunaan instruksi praktikum yang berbentuk *cookery book* pada penyelenggaraan praktikum fisika di beberapa sekolah yang

ditempati penelitian. Selain itu, hasil penelitian Cockman (2008) mengungkapkan bahwa dalam praktikum fisika, peserta didik perlu diberikan penekanan berupa latihan keterampilan seperti mengamati, menggolongkan, mengukur, berkomunikasi, menafsirkan data, dan melakukan eksperimen secara bertahap berdasarkan karakteristik materi. Kondisi ini membutuhkan kreativitas guru fisika dalam mengembangkan LKPD (kegiatan praktikum).

Kegiatan dalam LKPD tersebut tentunya berisi tagihan kegiatan ilmiah (berorientasi pada keterampilan proses sains). Melalui kegiatan ilmiah sejumlah keterampilan dapat dilatihkan/dipelajari peserta didik. Bentuk kegiatan ilmiah yang dilakukan, merupakan tahap dan juga indikator dari Keterampilan Proses Sains. Keterampilan proses sains dikembangkan bersama dengan fakta-fakta, konsep-konsep, dan prinsip-prinsip sains. Dengan merujuk pada buku Chiappetta, 2010, keterampilan proses sains dibagi menjadi dua yaitu *Basic Skills* dan *Integrated Skills*. *Basic Skills* terdiri dari kegiatan *observing, classifying, space/time relations, using numbers, measuring, inferring, dan predicting*, sedangkan *Integrated Skills* terdiri dari *defining operationally, formulating models, controlling variabels, interpreting data, hypothesizing, dan experimenting*.

Hasil penelitian terhadap kemampuan guru dalam merancang dan menyelenggarakan kegiatan praktikum fisika sekolah di beberapa wilayah juga belum optimal (Wiyanto, 2005-b; Gunawan, 2010;

Wattimena, et al.2014). Terlepas dari masalah sarana dan prasarana laboratorium, guru fisika ternyata kurang memunculkan kreativitasnya dalam menyusun desain praktikum maupun mengembangkan peralatan. Selain itu, sebagian guru fisika belum mampu menyelesaikan masalah yang dihadapi, akibat pengalaman belajar ketika menjadi mahasiswa, hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian dari McDermot (1999) bahwa salah satu faktor penting yang mempengaruhi rendahnya kinerja guru fisika adalah kurang baiknya penyiapan mereka. Dengan demikian maka patut diduga, bahwa ketidakterediaan LKPD yang berorientasi pada kegiatan ilmiah dapat disebabkan oleh argumentasi di atas.

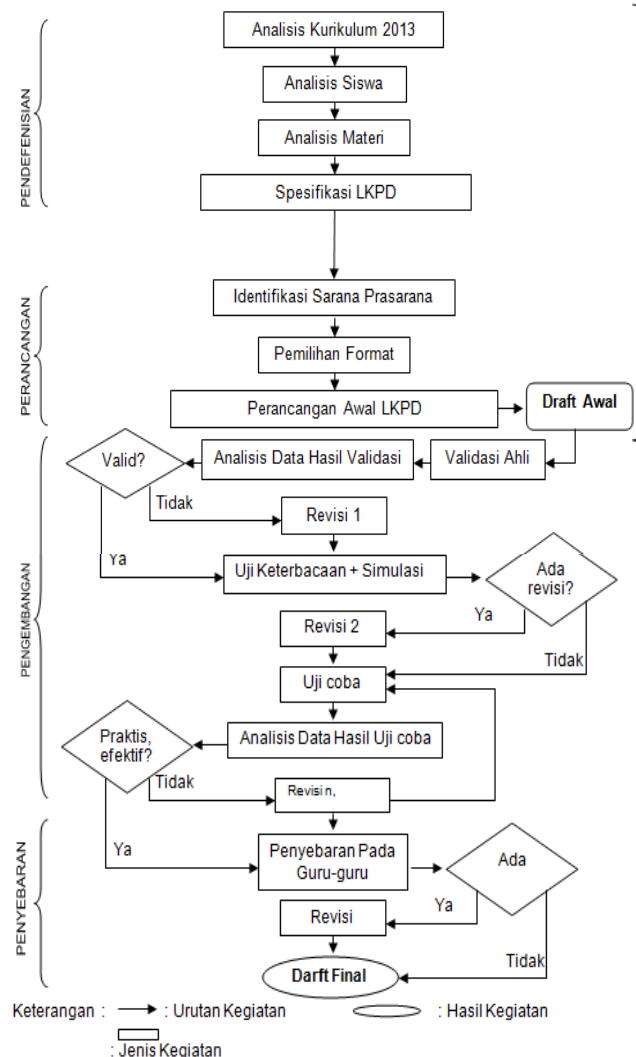
Hasil informasi yang penulis peroleh dari Forum MGMP pada beberapa Kabupaten/Kota di Sulawesi Selatan, penulis dapat menyimpulkan bahwa kegiatan pembelajaran untuk materi listrik arus searah yang dilaksanakan dalam bentuk kegiatan ilmiah sebagian besar hanya pada hukum Ohm saja, sementara penyajian karakteristik resistor yang disusun seri atau paralel biasanya disajikan melalui uraian analisis matematis.

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) mendeskripsikan karakteristik kerangka LKPD berbasis keterampilan proses sains; (2) menghasilkan model/kerangka LKPD Fisika SMA Berbasis Keterampilan Proses Sains pada materi listrik arus searah; (3) mengetahui profil LKPD Fisika berbasis keterampilan proses sains yang telah dihasilkan.

Indikator yang menjadi acuan pokok dalam pengembangan LKPD ini meliputi aspek: format, bahasa, dan isi. Indikator format terdiri dari; kejelasan pembagian materi, sistem penomoran jelas, pengaturan ruang/tata letak, jenis dan ukuran huruf yang sesuai dan kesesuaian ukuran fisik dengan siswa. Indikator bahasa meliputi adalah; kebenaran tata bahasa, kesesuaian kalimat dengan tingkat perkembangan siswa, mendorong minat untuk bekerja, kesederhanaan struktur kalimat, kalimat soal tidak bermakna ganda, kejelasan petunjuk atau arahan, sifat komunikatif bahasa yang digunakan, dan Indikator isi LKPD adalah: kebenaran materi/isi, merupakan materi/tugas yang esensial, dikelompokkan dalam bagian-bagian yang logis, kesesuaian dengan pembelajaran fisika, peranan LKPD dalam mendorong siswa dalam menemukan konsep/prosedur dengan cara mereka sendiri, dan kelayakan kelengkapan belajar

II. METODE PENELITIAN

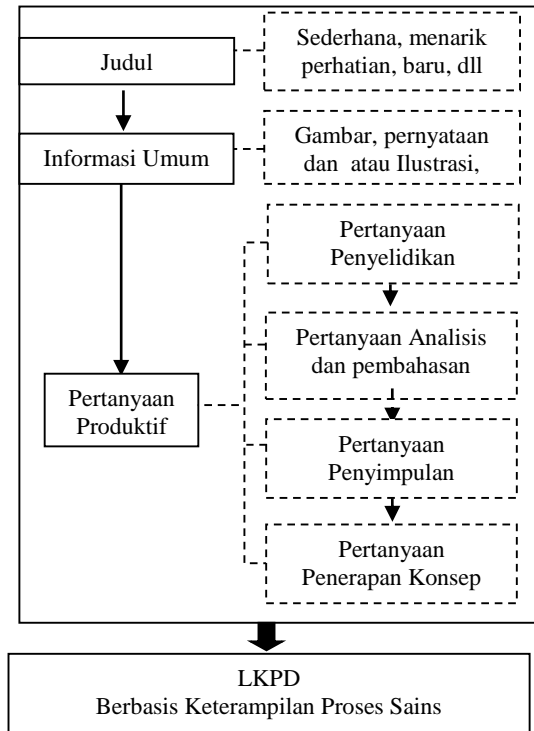
Penelitian ini dilakukan, mengacu pada desain penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dari Tiagarajan, Semmel dan Semmel yang dikenal dengan 4-D yang terdiri dari pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*), dan penyebaran (*disseminate*). Alur pelaksanaan penelitian ini diberikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah, lembar validasi, lembar observasi, kuesioner, dan lembar penilaian kinerja praktikum. Lembar validasi oleh dua orang ahli dan praktisi. Subjek penelitian ini adalah mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika semester VI tahun akademik 2014/2015 berjumlah 32 orang yang memprogramkan mata kuliah Praktikum Fisika Sekolah Menengah. Subjek ini merupakan subjek tempat dilakukan uji keterbacaan dan simulasi. Prosedur. Pelaksanaan penelitian hanya sebatas

pada tahap *pengembangan*. Hal ini dikarenakan beberapa keterbatasan seperti biaya dan waktu pelaksanaan. Khusus pada tahap perancangan dikembangkan kerangka LKPD berupa diagram alur kerja. Hasil dari tahap perancangan diberikan seperti pada Gambar 2.



(Sumber:herman, 2015)

Gambar 2. Bagan model/kereangka LKPD Berbasis Keterampilan Proses Sains

LKPD yang dikembangkan khusus untuk topik materi Listrik Arus Searah dengan judul LKPD adalah rangkaian **Seri** dan **Paralel Resistor**. Profil LKPD dideskripsikan melalui hasil validasi ahli dan praktisi (untuk melihat tingkat validitas perangkat yang dihasilkan), hasil ujicoba perangkat (melihat kepraktisan dan keefektifan perangkat). Data kepraktisan diperoleh dari hasil analisis lembar observasi penggunaan perangkat oleh pengajar yang dilakukan oleh dua orang observer, sedangkan data keefektifan perangkat diperoleh melalui hasil analisis angket respons peserta didik terhadap perangkat, lembar observasi keterlaksanaan perangkat oleh peserta didik, dan nilai kinerja praktikum peserta didik.

Berdasarkan hasil revisi dan saran dari ahli dan praktisi, dihasilkan draft awal perangkat, yang selanjutnya dilakukan uji keterbacaan dan simulasi pada mahasiswa semester VI Prodi Pendidikan Fisika UNM yang memprogramkan mata kuliah

Praktikum Fisika Sekolah Menengah Tahun 2015. Saran dan perbaikan dijadikan sebagai draf I.



III. HASIL DAN DISKUSI

Lembar Kerja Peserta Didik (**LKPD**) yang diterbitkan umumnya berisi pertanyaan yang untuk menjawabnya hanya dibutuhkan kemampuan kognitif. Bentuk LKPD diberikan dalam Gambar 3.

Model LKPD ini, secara turun-temurun telah digunakan meskipun disadari bahwa, ini belum secara maksimal dapat membantu peserta didik dalam menemukan konsep, hanya sebatas menerapkan konsep. Sejauh pengamatan penulis, belum ada LKPD yang digunakan Guru dalam pembelajaran yang berisi tagihan kegiatan dalam bentuk kegiatan ilmiah. Umumnya LKPD dibuat dalam bentuk kegiatan berupa manual/penuntun praktikum, yang bagi sebagian orang dan penulis pandang sangat tidak efektif, karena/ibarat "*resepkue*". Untuk itu diperlukan suatu model/kerangka LKPD yang dapat melibatkan semua aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap dari peserta didik.

Berdasarkan hasil kajian literatur (Guilford, 1988; Reif, 1995; McDermott, 2010; Santyasa, 2003; Etkina, 2005; Popper, 2005; Wenning, 2006; Brewe, et al. 2009; Abrahams & Milar, 2008; Danielson, 2011; Nivalainen, et al. 2013; Putra, 2013) diperoleh informasi karakteristik perangkat Lembar Kerja Peserta Didik berbasis keterampilan proses sains memuat kerangka yang terdiri dari: (1) Identitas berisi Judul dengan karakteristik spesifik, ringkas, jelas dan menarik perhatian (2) informasi umum berupa gambar dan atau narasi deskripsi; (3) pertanyaan produktif yang terdiri dari, pertanyaan penyelidikan, pertanyaan analisis dan pembahasan, pertanyaan penyimpulan dan pertanyaan penerapan konsep seperti pada Gambar 2.

Pertanyaan produktif yang dimaksud yaitu rumusan pertanyaan di dalam LKPD yang hanya dapat diselesaikan setelah dilakukan penyelidikan/pengamatan. Rumusan-rumusan pertanyaan disajikan sesuai dengan urutan-urutan kegiatan ilmiah. Bentuk kegiatan ilmiah yang dilakukan, merupakan tahap dan juga indikator keterampilan proses sains dengan merujuk pada buku Chiappetta, 2010.

<div style="background-color: #333; color: white; text-align: center; padding: 5px; font-weight: bold;">RANGKAIAN SERI DAN PARALEL RESISTOR</div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p><i>A. Informasi Kerja</i></p> </div> <p>Dua buah resistor R_1 dan R_2 yang nilainya berbeda dapat disusun secara seri dan disusun secara paralel. Ketika dua susunan resistor ini dihubungkan dengan sumber tegangan V_s maka beda potensial pada setiap resistor dan kuat arus listrik yang melalui resistor dapat diukur masing-masing dengan Voltmeter dan Ammeter.</p> <p>Untuk memahami karakteristik kuat arus listrik dan beda potensial (tegangan) pada setiap susunan resistor, jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan melakukan kegiatan ilmiah!</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p><i>B. Rumusan Pertanyaan</i></p> </div> <ol style="list-style-type: none"> Rangkaian Seri Resistor <ol style="list-style-type: none"> Bagaimana gambar susunan rangkaian seri dalam praktikum anda? Berapa besar kuat arus listrik yang melalui setiap resistor pada kegiatan ini? Berapa besar tegangan pada setiap resistor pada kegiatan ini? Jika nilai sumber tegangan V_s diubah-ubah, berapa besar kuat arus listrik sebelum titik cabang (arus total), kuat arus listrik yang melalui setiap resistor dan tegangan pada setiap resistor? Berdasarkan hasil pengukuran anda, berikan formulasi/persamaan hambatan pengganti untuk rangkaian paralel resistor! Bagaimana karakteristik tegangan dan kuat arus listrik pada rangkaian paralel resistor? 	<ol style="list-style-type: none"> Berdasarkan hasil pengukuran anda, berikan formulasi/persamaan hambatan pengganti untuk rangkaian seri resistor! Bagaimana karakteristik tegangan dan kuat arus listrik pada rangkaian seri resistor? <ol style="list-style-type: none"> Rangkaian Paralel Resistor <ol style="list-style-type: none"> Bagaimana gambar susunan rangkaian paralel dalam praktikum anda? Berapa besar kuat arus listrik sebelum titik cabang (arus total) dan kuat arus listrik yang melalui setiap resistor pada kegiatan ini? Berapa besar tegangan pada setiap resistor pada kegiatan ini? Jika nilai sumber tegangan V_s diubah-ubah, berapa besar kuat arus listrik sebelum titik cabang (arus total), kuat arus listrik yang melalui setiap resistor dan tegangan pada setiap resistor? Berdasarkan hasil pengukuran anda, berikan formulasi/persamaan hambatan pengganti untuk rangkaian paralel resistor! Bagaimana karakteristik tegangan dan kuat arus listrik pada rangkaian paralel resistor? <p><u>Catatan:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Dalam melakukan setiap kegiatan di atas, mintalah petunjuk dari Guru/pembimbing. Berikan jawaban anda pada lembar kerja yang telah disediakan
--	---

Gambar 3. Hasil LKPD Rangkaian seri dan Paralel Resistor

IV. HASIL VALIDASI AHLI DAN PRAKTISI

Proses validasi LKPD dilakukan dengan memberikan naskah kepada masing-masing dua (2) orang ahli dan dua orang praktisi. Hasil penilaian ahli dan praktisi terhadap perangkat yang dihasilkan berada pada kategori sangat valid (nilai rata-rata 3,85). Meskipun demikian, penulis menerima beberapa saran perbaikan dari validator. Dari hasil validasi ini maka dapat disimpulkan bahwa LKPD yang dihasilkan telah dikembangkan berdasarkan teori-teori pendukung, sehingga layak diujicobakan.

V. HASIL UJICOBA KEPRAKTISIAN

Draft awal kemudian diujicobakan (ujicoba terbatas) pada pada subjek penelitian yaitu mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika yang memprogramkan mata kuliah praktikum fisika sekolah menengah. Berdasarkan analisis data, diperoleh bahwa *reliabilitas percentange of agreement (PA)* = 100% dan semua aspek dalam perangkat memenuhi aspek keterbacaan, dan keterlaksanaan dari pengajar. Meskipun demikian observer masih melihat ada aktivitas pengajar yang muncul tiba-tiba (ini perlu dituangkan dalam pedoman penggunaan LKPD). Hasil revisi LKPD dari ujicoba ini, kemudian disebut draft I.

Hasil ujicoba yang dilaksanakan menunjukkan bahwa; (1) Respon siswa terhadap LKPD, menunjukkan bahwa 83,33% siswa memberi respon positif terhadap LKPD. Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa peserta didik memberi respon positif terhadap LKPD; (2) Hasil penilaian kinerja praktikum peserta didik, menunjukkan bahwa nilai rata-rata kelompok 67. Hasil ini tergolong masih rendah, hal ini disebabkan oleh karena, (a) mahasiswa belum terbiasa dengan model kegiatan dalam LKPD, (b) pengajar masih kaku dalam mengarahkan/memfasilitasi mahasiswa dalam bekerja; (3) hasil analisis terhadap lembar observasi keterlaksanaan perangkat menunjukkan bahwa, semua pertanyaan sudah dapat di selesaikan sesuai dengan waktu yang telah disediakan. Meskipun demikian terdapat item-item pertanyaan yang belum dipahami maksudnya. Hal ini karena, sebagian mahasiswa masih baru dengan LKPD seperti ini.

Hasil pengamatan langsung terhadap pelaksanaan pembelajaran dan hasil analisis terhadap LKPD yang telah diisi oleh peserta didik menunjukkan bahwa, masih terdapat isian yang masih keliru. Aktivitas bertanya, rasa ingin tahu yang sudah mulai tumbuh tentunya disebabkan diantaranya oleh pertanyaan-pertanyaan dalam LKPD yang tidak bisa dijawab jika tidak dilakukan kegiatan pengukuran (kegiatan ilmiah).

Berdasarkan hasil analisis uji keefektifan, maka dapat disimpulkan bahwa LKPD yang dihasilkan telah memenuhi kriteria keefektifan. Saran-saran dari observer beserta pengamatan langsung dari peneliti/penulis menjadi dasar melakukan revisi. Revisi yang dilakukan berdasarkan hasil uji keefektifan ini sebagian besar pada pedoman penggunaan LKPD khususnya dalam: aspek perumusan masalah, pengajuan hipotesis, identifikasi dan definisi operasional variabel. Hasil revisi ini akan dijadikan Draft I (Draft Final) siap untuk diterapkan secara luas.

Berdasarkan hasil analisis terhadap isian pada LKPD menunjukkan bahwa, rumusan masalah beragam, namun masih dalam kerangka topik rangkaian seri dan paralel resistor. Hal ini dapat dicapai karena sebagian besar mahasiswa telah memahami langkah dalam kegiatan ilmiah. Meskipun demikian masih ada yang perlu direvisi.

VI. TEMUAN KHUSUS

Hasil analisis dari isian LKPD pada bagian pertanyaan produktif, khususnya pada perumusan masalah dan hipotesis diperoleh informasi sebagian besar hanya merumuskan pertanyaan, belum pada kategori rumusan masalah yang baik, hal ini terjadi oleh karena belum pernah peserta didik sama sekali belum terbiasa dalam merumuskan masalah untuk diselidiki. Isian terkait dengan pertanyaan analisis khususnya dalam analisis grafik, peserta didik secara umum mengalami masalah khususnya dalam menginterpretasi/membaca grafik. Hal ini dapat disebabkan oleh peserta didik belum terbiasa, bahkan belum pernah mengolah data melalui . Hal ini didukung oleh pendapat *Feynman* (1998) yang mengatakan bahwa peserta didik harus memiliki pengalaman secara mendalam untuk menganalisis hasil eksperimen seperti membuat grafik, atau memberikan gambaran tentang hubungan antara variabel.

Hasil analisis terhadap isian LKPD terkait dengan pertanyaan pembahasan dan penyimpulan menunjukkan bahwa peserta didik masih memerlukan bimbingan khusus dalam mengisi LKPD tersebut, hal ini disebabkan oleh karena peserta didik belum memahami kerangka kerja dan tujuan serta belum memiliki konsep dasar secara operasional terkait dengan logika penemuan suatu konsep fisika. Mereka hanya mengukur, menganalisis sesuai petunjuk namun untuk menemukan konsep dari hasil eksperimen, belum terbiasa/terlatih atau belum pernah sama sekali. Sehingga perlu guru proaktif dalam memberikan informasi. Sekali lagi, hal ini dapat terjadi oleh

karena peserta didik belum terbiasa dan baru dengan kegiatan seperti ini. Hasil tersebut didukung oleh penjelasan *Wenning* (2006) yang mengungkapkan bahwa penggunaan logika penemuan ilmiah seperti pemahaman konsep dasar secara operasional, harus dimaknai peserta didik untuk menyusun teknik koleksi data, sebagai bagian dari kegiatan praktikum fisika. Hal sejalan juga dikemukakan oleh *Brewe et al.* (2009) yang mengungkapkan bahwa metode ilmiah yang biasanya digunakan mahasiswa dalam menginterpretasikan hasil praktikum, sering menjadi kesulitan cukup signifikan karena kurangnya ketelitian dalam mengidentifikasi sejumlah variabel fisis.

Meskipun demikian terdapat beberapa mahasiswa yang mencapai hasil kinerja yang sangat baik khususnya pada isian penerapan konsep. Hal ini dapat terjadi oleh karena kegiatan yang mereka laksanakan mengantarkan mereka pada pencapaian pemahaman konsep. Pernyataan ini sejalan dengan pandangan *Santyasa* (2003) yang menjelaskan bahwa pemahaman konsep fisika melalui praktikum dapat terjadi ketika mereka mampu menjalankan proses ilmiah sebagai pengetahuan tentang analisis kesalahan dan interpretasi data. Temuan yang sama dikemukakan juga oleh *Popper* (2005) yang mengungkapkan bahwa peserta didik akan mampu melakukan observasi dan interpretasi teori secara optimal jika mereka menyadari tentang masalah tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kesiapan peserta didik dalam menganalisis hubungan antara konsep-konsep fisika yang dapat dipraktikkan telah dijalani secara baik.

Hasil analisis lain menunjukkan masih kelirunya peserta didik dalam menyusun rancangan eksperimen, hal ini menunjukkan bahwa LKPD yang ada mulai dapat melatih mereka dalam merancang eksperimen/praktikum meskipun masih ada yang keliru, sehingga kegiatan ilmiah masih perlu dilatihkan secara terus menerus. Tahap kegiatan eksperimen kearah berpikir tingkat tinggi menurut *Wenning* (2006) sebagai pola pembelajaran di Laboratorium fisika yang telah di paparkan dalam bahan ajar, juga belum sepenuhnya diikuti peserta didik.

Hasil pengamatan lain khususnya aktivitas peserta didik belum terlaksana secara maksimal pada tahap diskusi kelompok, dan diskusi antara kelompok. Hal ini mengindikasikan bahwa mereka berpotensi melakukan analisis berdasarkan penalaran mereka sendiri dan tidak mengacu pada hasil pengamatan dan analisis secara ilmiah. Hal ini sejalan dengan pandangan *Danielsson* (2011) bahwa kegiatan praktikum fisika akan berdampak pada model

wacana peserta didik yang didasarkan pada pelaksanaan praktikum dan analisis, berdasarkan penalaran dan pengalaman mereka sendiri terhadap konsep-konsep dasar fisika dalam beraktivitas. Berdasarkan temuan-temuan tersebut, peneliti menduga, secara umum peserta didik belum terbiasa dengan model LKPD yang kegiatan-kegiatannya adalah cerminan dari keterampilan proses sains.

VII. KESIMPULAN

- Model/kerangka acuan dalam menulis LKPD basis keterampilan proses sains meliputi (1) judul, (2) informasi umum (gambar, narasi), dan (3) rumusan pertanyaan produktif yang terdiri dari; pertanyaan penyelidikan, pertanyaan analisis, pertanyaan bahasan (pembahasan), pertanyaan kesimpulan).
- Profil LKPD fisika berbasis keterampilan proses sains yang dihasilkan telah memenuhi kriteria valid, praktis dan efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Salahuddin, S.Pd selaku Laboran Fisika Dasar FMIPA UNM, Usman Sambiri, Zainal, dan semua Asisten Laboratorium Fisika Dasar yang telah membantu peneliti untuk melaksanakan penelitian ini. Selain itu, peneliti mengucapkan terima kasih kepada pemberi dana penelitian (dana DIPA UNM tahun 2015).

REFERENSI

- [1] Abrahams, I & Millar, R. Does Practical Work Really Work? A Study of The effectiveness of practical Works as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*. 2008. 30(14), p.1945-1969
- [2] Brewe, E., Kramer, L., and O'Brien, G. Modeling Instruction: Positive attitudinal Shifts in Introductory Physics Measured Alt Class. *Physics Review Special Topics Physics Educational Resource*. 20095(1). 013102.
- [3] Chiappetta, Eugene L dkk. *Sceince Instructiron in The Middle and Secondary Schools: developing Fundamental knowledge and skils*, seventh edition, Allyn & Bacon, (2010), p.217
- [4] Cockman, W.J (2008). *Cookbook Vs. Inquiry*. TAP-L Discussion Group. (Online) (Tersedia: <http://www.lists.nesu.edu/Cmg-bin/digest?list1>, diakses 19/08/2015).
- [5] Danielsson, A. T. Characterising The Practice of Physics as Enacted Ni University Student Laboratories Using 'Discourse Models' as an Analytical Tool. *Nordina Journals Faculty of*

- Education, University of Cambridge, UK. (2011) 7(2).
- [6] E. Rahayu, H. & Susanto, D. Yulianti, Pembelajaran sains dengan pendekatan keterampilan proses untuk meningkatkan hasil belajar dan kemampuan berpikir Kreatif siswa, *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, vol.7, 2011, p. 33-37
- [7] Etkina, E., Muthy, S. And Lou, X. Using Introductory Labs to Engage Students in Experimental Design, *American Journal Of Physics*,. 2006. 74, p. 979.
- [8] Feynman, R. Goal of The introductory Physics Laboratory. Association of Physics Teachers. *American Journals Physics*. 1998. 6(6).
- [9] Guilford, J.P. Some Changes in The structure of intellect model. *Educational and Psychological Measurement Journals*, 1988. 48: 1-4.
- [10] Gunawan. Model Pembelajaran Berbasis MMI untuk meningkatkan Penguasaan Konsep Calon Guru pada Materi Elastisitas. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. 2(1), 2010, p. 11-21.
- [11] Herman. 2015. Pengembangan LKPD Gerak Melingkar: hubungan kecepatan sudut ω dan kecepatan linier v , Berbasis Keterampilan Proses Sains. *Prosiding. Seminar Nasional Lemlit UNM 'Optimalisasi Hasil-hasil Penelitian dalam menunjang Pembangunan Berkelanjutan*. 13 Juni 2015. ISSN 2460-1322, p.964-971. Makassar.
- [12] Hamper, Chris. *Higher Level (plus standard level options) Physics*. London, Pearson Education Limited , 2009, p. 83-87.
- [13] Kurniawan, Wawan & Endah H, Diana: Pembelajaran Fisika dengan Metode Inquiry Terbimbing untuk mengembangkan Keterampilan Proses Sains, *JP2F*, 1(2), 2010, p. 149-158.
- [14] McDermott, C.L. A Perspective on Teacher Preparation in Physics and Other Sciences. *American Journal of Physics*. (1999). 58 (8).
- [15] Nivalainen, V., Asikainen, M.A., and Hirvonen, P.E. Preservice Teachers Objectives and Their Experience of Practical Work. *Physical review Special topics-physics Education Research. American Physics Society*, 2013. 10.1103 Phys-Rev-STPER.9.010102.
- [16] Putra, S.R. 2013. *Desain Belajar Mengajar Kreatif Berbasis Sains*. Yogyakarta: Diva Press.
- [17] Popper, K. 2005. *The Logic of Scientific Discovery*. This Edotion Published. New York: The Taylor & Francis e-Library.
- [18] Reif, F. Millikan Lecture 1994. Understanding an teaching Important Scientific Thought Processes. *American Journal of Physics*. 1995. 63(1).
- [19] Santyasa, I W. 2003. *Pembelajaran Fisika berbasis Keterampilan Berpikir Sebagai Alternatif Implementasi KBK*. Makalah. Disajikan dalam Seminar Nasional Teknologi Pembelajaran, 22-23 Agustus 2003. Yogyakarta.
- [20] Wattimena, H.S., Suhandi, A., Setiawan, A (2014). Profil Penyelenggaraan Praktikum Fisika Sekolah sebagai Penyiapan Mengembangkan Kreativitas Calon Guru. *Jurnal Pendidikan Dasar PGSD FKIP Unpati* 2-6.
- [21] Wenning, C. J. A Framework for Teaching The Nature of Science. *Journal Of Physics Teacher Education Online*, 3(3), (2006) p. 3-10.
- [22] Wiyanto, Pengembangan Kemampuan Merancang Kegiatan Laboratorium Fisika Berbasis Inkuiri bagi mahasiswa Calon Guru. *Jurnal Universitas Negeri Semarang-Jurusan Fisika FMIPA*. 2005-b.

Pembuatan Dan Karakterisasi Nanopartikel *Titanium Oxide* (TiO₂) Menggunakan Metode *Sol-Gel*

Idawati Supu^{1*} dan Akhiruddin Maddu²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains, Universitas Cokroaminoto Palopo, Jln. Latamcelling No.19, Kota Palopo-Sulawesi Selatan, Indonesia 91913

²Jurusan Fisika IPB

*Email address: idawatisupu@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan film tipis TiO₂ (*titanium oxide*) dengan variasi suhu kalsinasi dengan metode *sol-gel*. Dari hasil XRD menunjukkan kristalinitas dan ukuran kristal yang makin meningkat dengan penambahan suhu, serta terjadi transformasi fase dari anatase menjadi rutil pada suhu kalsinasi di atas 800°C. Berdasarkan hasil SEM, peningkatan suhu kalsinasi dapat menambah ukuran butir dan ukuran pori partikel TiO₂. Ketebalan pelapisan film mempengaruhi sifat optik terutama proses absorpsi material. Karakterisasi optik TiO₂ menggunakan spektrofotometer UV-Vis diketahui serapan berada pada daerah UV (306 nm-320 nm). Energi celah (transisi langsung) semakin berkurang dengan penambahan suhu kalsinasi. Nilai energi celah pada kalsinasi 400°C, 600°C, 800°C masing-masing 3,79 eV, 3,58 eV dan 3,35 eV. Hal ini berkaitan dengan sifat optik, yaitu koefisien absorpsi bahan.

Kata Kunci: energi gap, suhu kalsinasi, titanium oxide, hidrolisis, transisi langsung

I. PENDAHULUAN

Bahan semikonduktor *titanium oxide* (TiO₂) merupakan material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi misalnya sel surya (1), sensor kimia (2), sel fotoelektrokimia (3), fotokatalis (4), dan perangkat elektronik (5). Hal itu dikarenakan TiO₂ memiliki fase kristal yang reaktif terhadap cahaya, eksitasi elektron ke pita konduksi dapat dengan mudah terjadi apabila kristal ini dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar daripada celah energinya.

Aplikasi dari semikonduktor TiO₂ berupa nanopartikel (6, 7), nanokristal (8), nanorods (9), nanofiber (10), nanotubes (11) dan nanowires (12) sebagai elektroda pada DSSC mampu menghasilkan efisiensi yang baik. TiO₂ memiliki tiga fase kristal yaitu rutil, anatase, dan brookite. Namun yang paling banyak digunakan dalam proses fotoelektrokimia adalah rutil dan anatase, keduanya memiliki struktur kristal tetragonal, dengan parameter kisi $a = 4,593 \text{ \AA}$ dan $c = 2,959 \text{ \AA}$ untuk rutil dengan energi gap sebesar 3,0 eV, anatase memiliki parameter kisi $a = 3,785 \text{ \AA}$ dan $c = 9,513 \text{ \AA}$, energi gap sebesar 3,2 eV.

Aplikasi dari nanopartikel TiO₂ sebagai elektroda pada DSSC dengan ukuran partikel 8-10 nm dengan fase anatase (suhu 600 °C) menunjukkan performa yang sangat bagus. Salah satu metode pembuatan nano TiO₂ yang halus dan berpori dalam bentuk film tipis (ketebalan 4 μm) yaitu melalui metode *sol gel spin-coating* (7). Fase anatase lebih efektif digunakan dalam aplikasi

fotokatalisis dan sel surya karena band gap yang lebih lebar jika dibandingkan dengan fase rutil (13).

Ahmadi (14) melakukan riset tentang beberapa parameter yang mempengaruhi pembentukan nanopartikel TiO₂, yaitu pH larutan, suhu kalsinasi, waktu *aging*, suhu *aging*, serta perbandingan konsentrasi pereaksi. Parameter tersebut berkaitan erat dengan sifat material seperti ukuran partikel dan jenis fase yang terbentuk. Pada penelitian ini, pembentukan nanopartikel TiO₂ dilakukan dengan metode *sol gel* dengan perlakuan variasi suhu kalsinasi dan menggunakan TiCl₄ sebagai prekursor melalui tahap hidrolisis. Pereaksi logam klorida seperti TiCl₄ cenderung banyak digunakan dalam metode *sol gel* karena mampu menghasilkan produk akhir berupa oksida logam TiO₂. Proses pembentukan oksida logam tersebut dapat terjadi melalui tiga tahap yaitu: hidrolisis, polimerisasi dan pertumbuhan partikel.

II. BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan semikonduktor TiO₂ adalah titanium klorida (TiCl₄), asam sulfat (H₂SO₄), amonia (NH₃), akuabides, kertas saring (*whatman* 0,45 μm), perak nitrat (AgNO₃) 0,1 M.

Metode

Pembuatan bubuk TiO_2 dilakukan menggunakan metode *sol-gel* melalui tahap hidrolisis TiCl_4 dengan menggunakan H_2SO_4 (8). Pencampuran diawali dengan bahan TiCl_4 sebagai prekursor ditambahkan H_2SO_4 . Kedua bahan dicampur dalam wadah berisi es sambil diaduk dengan *stirrer magnetic* (350 rpm). Selanjutnya dipanaskan pada suhu sekitar 60°C sampai membentuk larutan bening sambil tetap diaduk. Larutan didiamkan kemudian ditetesi dengan amonia sampai membentuk gel berwarna putih. Larutan disaring dengan kertas saring whatman ($0,45\ \mu\text{m}$) dan uji bebas klorida menggunakan larutan AgNO_3 . Endapan putih pada kertas saring dikeringkan. Selanjutnya digerus sampai halus dan dipanaskan pada tanur (furnace) selama 2,5 jam dengan suhu berbeda (400°C , 600°C , 800°C , dan 1000°C).

Pelapisan TiO_2 dilakukan dengan metode *casting*. Kaca TCO (tebal: 2 mm) dibersihkan dengan aquadest/etanol di dalam *ultrasonic bath*, kemudian dikeringkan. Sebanyak 0,2 gram bubuk TiO_2 ditetesi dengan asam asetat 3% sambil digerus pada mortar sampai homogen membentuk koloid. Kaca TCO dengan permukaan yang konduktif dilapisi dengan selotip Scotch dengan menyisakan bagian tengah berukuran 1 cm x 1 cm. Bagian yang terbuka ditetesi dengan koloid TiO_2 dan diratakan menggunakan batang gelas bersih sampai menutupi semua bagian yang terbuka, dibiarkan beberapa menit sampai agak mengering. Lapisan Scotch pada masing-masing tepi kaca TCO dilepas secara perlahan, kemudian dikeringkan pada suhu $\geq 400^\circ\text{C}$ selama dua jam.

Film tipis yang terbentuk dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis (*ocean optic spectrophotometer*) untuk menentukan sifat optik yaitu nilai absorbansi. Pengukuran kristalinitas menggunakan *x-ray diffraction* (XRD-GBC EMMA) dan *scanning electron microscope* (SEM) untuk melihat bentuk morfologi serta ukuran partikel TiO_2 .

Penentuan karakteristik sifat optik film TiO_2 menggunakan alat spektroskopi *Ocean Optic™ 4000* untuk rentang frekuensi UV-Vis. Film TiO_2 berbentuk transparan sehingga dapat terukur dengan baik. Pengukuran absorbansi tersebut dirangkai terlebih dulu dengan menghubungkan spektrofotometer UV-Vis ke komputer yang telah diinstal software *SpectraSuite* (*Ocean Optics*). Selanjutnya, holder kuvet dihubungkan langsung dengan spektrofotometer dan sumber cahaya.

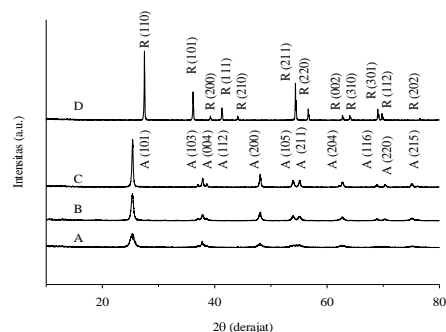
Karakterisasi XRD dilakukan pada TiO_2 dalam bentuk bubuk (powder) pada sudut 2θ : 20° sampai 80° . Alat ini menggunakan sinar-X dengan panjang gelombang $0,154059\ \text{nm}$ sebagai sumber radiasi. Sampel pada holder diradiasi langsung yang terintegrasi dengan tabung XRD. Alat tersebut terhubung langsung dengan komputer yang dilengkapi dengan software GBC-EMMA. Dari hasil XRD dapat diperoleh intensitas, sistem kristal, ukuran kristal, parameter kisi, jarak antar bidang kristal, jenis fase kristal berdasarkan database (JCPDS) TiO_2 .

Karakterisasi SEM dilakukan untuk melihat bentuk permukaan film TiO_2 dengan pembesaran seragam pada semua sampel (40.000 kali). Selain ukuran partikel, ketebalan masing-masing film juga dapat diperoleh dari hasil SEM. Nilai ketebalan film tersebut digunakan dalam menentukan energi gap berdasarkan data spektroskopi optik yang diperoleh.

III. HASIL DAN DISKUSI

Pola XRD TiO_2

Pola XRD pada Gambar 1 menunjukkan fase TiO_2 yang muncul pada pemanasan dari suhu 400°C - 800°C hanya anatase, semua puncak muncul dengan jelas. Ketika suhu dinaikkan sampai 1000°C , terjadi transformasi fase dari anatase menjadi rutil. Puncak anatase tertinggi pada sudut $2\theta = 25,33^\circ$ yang bersesuaian dengan bidang difraksi (101) (JCPDS 21-1272) dan rutil dengan intensitas tertinggi pada sudut $2\theta = 27,46^\circ$ yang bersesuaian dengan bidang difraksi (110) (JCPDS 21-1276). Pada setiap kenaikan suhu, hanya terdapat satu jenis fase yang muncul disebut fase tunggal (*single phase*), karena tidak terdapat puncak difraksi lain (pengotor).



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X pada TiO_2 fase anatase (A) dan rutil (R) untuk setiap kenaikan suhu kalsinasi (A) 400°C , (B) 600°C , (C) 800°C dan (D) 1000°C

Ukuran kristal dihitung dengan persamaan Debye–Scherrer:

$$\sigma = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

σ adalah ukuran kristal, λ adalah panjang gelombang sumber sinar-X (Cu K α adalah 0,154059 nm). Nilai β yang digunakan adalah setengah nilai puncak difraksi (dalam radian), nilai puncak maksimum disebut FWHM (*full width at half maximum*) dan θ adalah sudut difraksi Bragg.

Ukuran kristal (Tabel 1) pada suhu 800°C lebih besar dibanding dengan ukuran kristal pada suhu 400°C. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian tentang pengaruh suhu kalsinasi terhadap ukuran kristal TiO₂ disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa penelitian tentang perubahan ukuran kristal TiO₂ akibat pengaruh suhu kalsinasi.

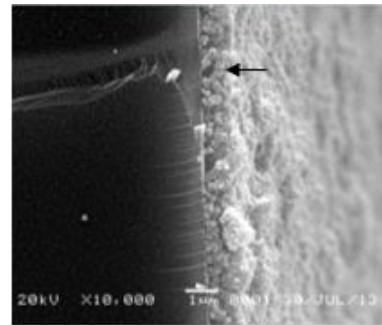
Suhu kalsinasi (°C)	400	600	800	1000		Penelitian sekarang
Ukuran kristal (Å)	13,75	20,79	25,25	48,88		
Suhu kalsinasi (°C)	350	400	450	500	525	Gonzales dan Santiago (2007)
Ukuran kristal (Å)	15,6	16,1	16,3	17,9	20	
Suhu kalsinasi (°C)	400	500	600	700		Ahmadi et al. 2011
Ukuran kristal (nm)	13,96	17,60	20,68	26,44		

Morfologi TiO₂

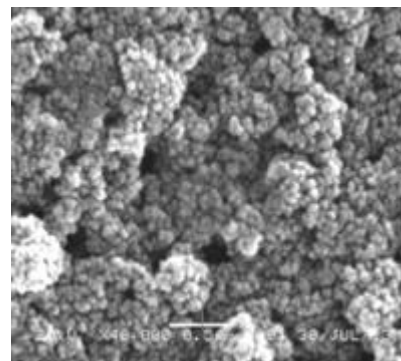
Bentuk permukaan film TiO₂ pada suhu kalsinasi berbeda yaitu 400°C, 600°C dan 800°C memiliki ketebalan yang berbeda berturut-turut adalah 780,16 nm, 328,57 nm, dan 588,27 nm. Bentuk morfologi permukaan dari film TiO₂ dengan pembesaran 40.000 kali dapat diamati pada Gambar 2.

Hasil SEM menunjukkan permukaan dari film tipis TiO₂ pada suhu yang berbeda dari 400°C, 600°C, 800°C dan 1000°C. Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa ukuran butir partikel TiO₂ semakin bertambah besar dengan meningkatnya suhu kalsinasi yaitu 43,06 nm, 44,91 nm dan 64,99 nm dan 80,40 nm. Pada suhu 400°C belum terlihat batas antar butir dengan jelas karena

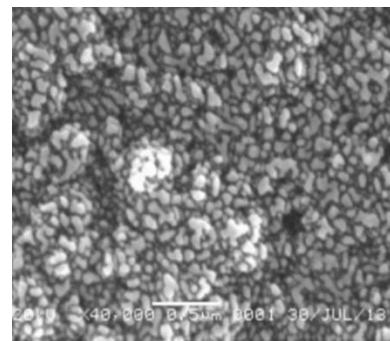
permukaan yang hampir seragam dan rapat sehingga permukaan film terlihat rata, sedangkan pada suhu 1000°C terlihat batas antar butir secara jelas sehingga membentuk pori.



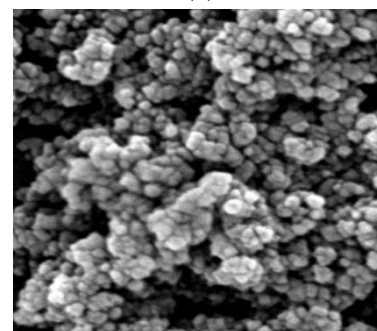
(a)



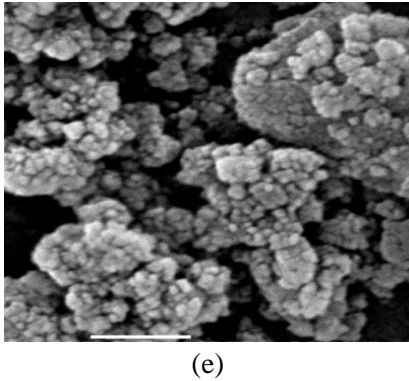
(b)



(c)



(d)



Gambar 2. Foto SEM dari film TiO₂ (a) dengan perbedaan suhu kalsinasi (fase anatase) 400°C (b), 600°C (c), 800°C (d), dan fase rutil 1000°C (e)

Sifat Optik dan Energi Band Gap TiO₂

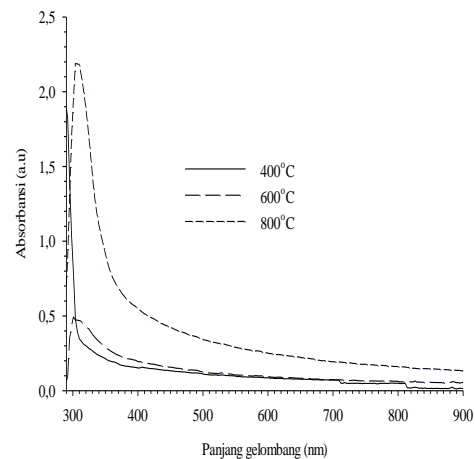
Film TiO₂ yang ditumbuhkan di atas substrat kaca dikarakterisasi sifat optik untuk mengetahui spektrum serapan, dilanjutkan dengan penentuan energi celah pita optik. Spektrum serapan TiO₂ anatase dikalsinasi pada suhu yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 3. Daerah absorpsi pada kisaran ultraviolet (UV) bergeser pada setiap kenaikan suhu (306 nm-320 nm). Perbedaan nilai tersebut menunjukkan adanya serapan optik pada panjang gelombang UV. Tepi pita serapan bergeser ke wilayah panjang gelombang lebih panjang atau frekuensi lebih kecil. Ketika TiO₂ menyerap energi foton yang lebih besar atau sama dengan energi gap yang dimiliki, maka elektron akan tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi, kemampuan absorpsi menjadi meningkat untuk panjang gelombang yang sesuai dengan energi celah.

Energi celah dapat ditentukan berdasarkan koefisien absorpsi dalam persamaan Tauc (1972) yaitu:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (2)$$

dimana A adalah konstanta optik, α adalah koefisien absorpsi, $h\nu$ adalah energi foton, E_g adalah energi celah, dan n adalah nilai transisi yang bergantung pada jenis transisi (transisi langsung $n=1/2$ dan transisi tidak langsung $n=2$).

Jika dalam proses transisi, momen elektron kekal (konservatif) maka terjadi transisi langsung, namun jika sebaliknya dalam proses transisi tidak konservatif maka harus disertai dengan energi fonon disebut sebagai transisi tidak langsung (15).

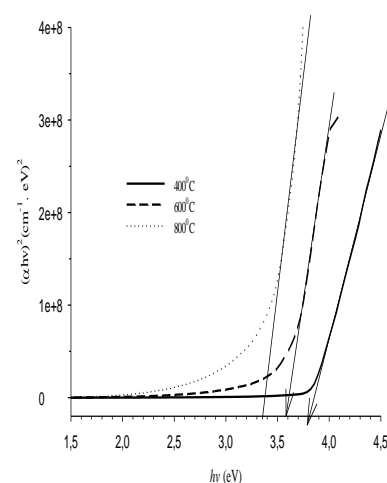


Gambar 3. Spektrum absorpsi film TiO₂ anatase pada suhu kalsinasi masing-masing 400°C, 600°C dan 800°C.

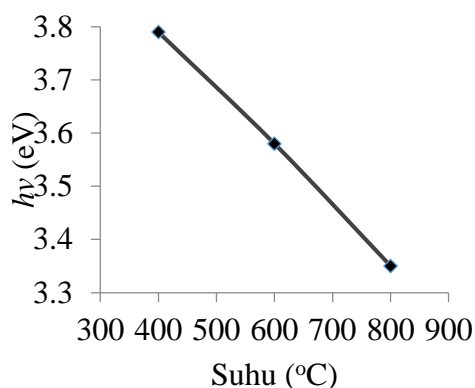
Jenis transisi film TiO₂ dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien absorpsi. Jika nilai koefisien lebih besar dari 10^4 termasuk transisi tidak langsung, sebaliknya jika koefisien absorpsi kurang dari 10^4 merupakan transisi langsung (16). Pada penelitian ini, hasil perhitungan koefisien absorpsi rata-rata dari masing-masing suhu kalsinasi 400°C, 600°C, 800°C berturut-turut adalah $8,160 \times 10^2$, $1,754 \times 10^3$, dan $4,015 \times 10^2$ lebih kecil dari 10^4 sehingga termasuk transisi langsung. Koefisien absorpsi dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\alpha = \frac{2,303 A}{d} \quad (3)$$

A adalah absorbansi, α adalah koefisien absorpsi, dan d adalah ketebalan film TiO₂.



Gambar 4. Plot energi ($h\nu$) terhadap $(\alpha h\nu)^2$ film TiO₂ pada suhu kalsinasi masing-masing 400°C, 600°C dan 800°C.



Gambar 5. Plot energi foton ($h\nu$) terhadap perubahan suhu kalsinasi film TiO_2 pada suhu kalsinasi yang berbeda

Energi celah (Gambar 4) ditentukan berdasarkan perpotongan kurva bagian linear dengan sumbu energi ($h\nu$). Nilai energi celah pada kalsinasi 400°C, 600°C, 800°C masing-masing 3,79 eV, 3,58 eV dan 3,35 eV. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa perubahan suhu kalsinasi menyebabkan perubahan energi celah semikonduktor TiO_2 . Hal ini berkaitan erat dengan perubahan ukuran partikel-partikel TiO_2 .

Berdasarkan hasil plot kurva (Gambar 5) diketahui bahwa nilai energi celah menurun terhadap peningkatan suhu kalsinasi. Perubahan energi celah disebabkan oleh perubahan ukuran partikel karena adanya efek ukuran kuantum (*quantum size effect*) (17, 18). Hal ini disebabkan oleh perubahan nilai *quantum confinement* yang menyebabkan peningkatan energi kinetik pada medan kuantum yang diiluminasi, sehingga energi celah meningkat seiring dengan penurunan ukuran partikel. Peristiwa tersebut dikenal sebagai efek ukuran quantum. Beberapa penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa nilai energi celah TiO_2 anatase yaitu 3,78 (19), 3,6 eV (20), 3,67 eV (21), variasi suhu kalsinasi 400°C sampai 700°C masing-masing 3,67 eV, 3,40 eV, 3,80 eV, 3,65 eV (17), 3,36 eV (22), dan 3,5-3,8 eV (23).

IV. KESIMPULAN

Peningkatan suhu kalsinasi menyebabkan perubahan struktur TiO_2 , terjadi transformasi fase serta semakin kristal. Ukuran kristal sangat dipengaruhi oleh lebar puncak difraksi yang tertinggi dari setiap fase. Selain itu, peningkatan suhu sangat berpengaruh pada ukuran butir dan keterikatan antar butir TiO_2 . Semakin tinggi suhu maka ukuran butir semakin meningkat, demikian

halnya dengan ukuran makin bertambah besar. Sifat optik TiO_2 menunjukkan berada pada daerah UV, dengan koefisien absorpsi yang mengindikasikan terjadinya transisi langsung. Nilai energi gap sangat bergantung pada jenis transisi elektroniknya. Setiap perubahan kenaikan suhu menyebabkan energi gap menjadi semakin berkurang.

REFERENSI

- [1] Qin W., Lu, S., Wu, X., Wang, S. 2013. *Int. J. Electrochem. Science*. 8: 7984-7990.
- [2] Li Z., Ding D., Liu Q., Ning C. 2013. *Sensors*. 13: 8393-8402.
- [3] Koyzyukin S A, Grinberg VA, Baranchikov AE, Ivanov VK, Emets VV, Klyuev AL. 2013. Photoelectrochemical cells based on nanocrystalline TiO_2 synthesized by high temperature hydrolysis of ammonium dihydroxylactatotitanate (IV). *Russian J Electrochem*. 49(5): 423-427.
- [4] Macak JM, Zlamal M, Krysa J, Schmuki P. 2007. Self-organized TiO_2 nanotubes layers as highly efficient photocatalyst. *Small*. 3(2): 300-304.
- [5] Bach U, Corr D, Lupo D, Pichot F, Ryan M. 2002. Nanomaterials-Based Electrochromics for Paper- Quality Displays. *Adv Mater B*. 14: 845-848.
- [6] Kathiravana A, Chandramohan M, Renganathan R, Sekar S. 2009. Photoinduced electron transfer from phycoerythrin to colloidal metal semiconductor nanoparticles. *Spectro Acta Part A*. 72: 496-501.
- [7] Meen TH, Water W, Chen WR, Chao SM, Ji LW, Huang CJ. 2009. Application of TiO_2 nano-particles on the electrode of dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem Sol*. 70: 472-476.
- [8] Wenbing Li, Zeng T. 2011. Preparation of TiO_2 anatase nanocrystals by TiCl_4 hydrolysis with additive H_2SO_4 . *PLoS ONE*. 6: 1-6.
- [9] Song MY, Ahn YR, Seong MJ, Kim DY. 2005. TiO_2 single-crystalline nanorod electrode for quasi solid state dye sensitized solar cells. *Appl Phys Letters*. 87: 1-3.
- [10] Onozuka K, Ding B, Tsuge Y, Naka T, Yamazaki M, Sugi S, Ohno S, Yoshikawa M, Shiratori S. 2006. Electrospinning processed nanofibrous TiO_2 membranes for photovoltaic applications. *Nanotechnol*. 17: 1026-1031.

- [11] Cui L, Hui KN, Hui KS, Lee SK, Zhou W , Wan ZP, Thuc CH. 2012. Facile microwave-assisted hydrothermal synthesis of TiO₂ nanotubes. *Mater Letters*. 75: 175–178
- [12] Kumar A, Anuj R. Madaria, Zhou C. 2010. Growth of aligned single-crystalline rutile TiO₂ nanowires on arbitrary substrates and their application in dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem C*. 114: 7787–7792.
- [13] Mills A, Hunte SL. 1997. An overview of semiconductor photocatalysis. *J Photochem Photobiol A Chem*. 108: 1-35.
- [14] Ahmadi M, Ghasemi MR, Rafsanjani HH. 2011. Study of different parameters in TiO₂ nanoparticle formation. *J Mat Sci Eng*. 5: 87-93.*
- [15] Islam MA, Mir Julfiker Haither, Imran Khan, Momtazul Islam. 2012. Optical and structural characterization of TiO₂ nanoparticles. *J Electric Electron Eng IOSR-JEEE*. 3(2): 2278-1676
- [16] Tauc J. 1972. States in the gap. *J non crystal Sol*. 8(10): 569-585.
- [17] Gao Y, Masuda Y, Peng Z, Tetsu Yonezawa and Kunihiro Koumoto. 2003. Room temperature deposition of a TiO₂ thin film from aqueous peroxotitanate solution. *J Mater Chem*. 13: 608–613.
- [18] Ge L, Xu M, Fang H, Sun M. 2006. Preparation of TiO₂ thin film from autoclaved sol containing needle-like anatase crystals. *Appl Surf Sci*. 253: 720-725.
- [19] Karabay I, Yüksel SA, Ongül F, Öztürk S, Aslı M. 2012. Structural and Optical Characterization of TiO₂ Thin Films Prepared by Sol–Gel Process. *Acta Phys Pol A*. 121(1): 265-267.
- [20] González AE, Santiago SG. 2007. Structural and optoelectronic characterization of TiO₂ films prepared using the sol–gel technique. *Semicond Sci Technol*. 22: 709–716.
- [21] Li GH, Yang L, Jin YX, Zhang LD. 2000. Structural and optical properties of TiO₂ thin film and TiO₂ + 2 wt.% ZnFe₂O₄ composite film prepared by r.f. sputtering. *Thin Sol Films*. 368: 163-167.
- [22] Reddy KM, Manorama SV, Reddy AR. 2002. Bandgap studies on anatase titanium dioxide nanoparticles. *Mater Chem Phys*. 78: 239–245.
- [23] Hasan M.M., Haseeb A. S. M. A., Saidur R, Masjuki HH. 2008. Effects of annealing treatment on optical properties of anatase TiO₂ thin films. *Int J Chem Biol Eng*. 1(2): 92-96.

Pengaruh Perendaman Larutan Teh Hitam Terhadap Keramik Gigi Tiruan

Nurlaela Rauf* dan Sinarwati

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin

*Email: n-rauf@fmipa.unhas.ac.id

Abstrak

Telah dibuat gigi tiruan dari bahan alam feldspar, kaolin, kuarsa dan bubuk cangkang telur. Gigi tiruan bila berkontak dengan senyawa fenol (asam tanin) dalam minuman akan terjadi demineralisasi yang berakibat pada penurunan kualitas. Asam tanin merupakan senyawa yang terkandung dalam minuman teh hitam. Teh hitam merupakan salah satu minuman yang banyak dikonsumsi. Penelitian ini menggunakan sampel ukuran 10mm x 10 mm, dengan perendaman selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam. Variabel yang diukur adalah sifat mekanik gigi tiruan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman gigi tiruan dalam larutan teh hitam maka kualitas kekerasan dan kuat tekan menurun.

Kata Kunci: gigi tiruan, kekerasan, keramik, kuat tekan, teh hitam

I. PENDAHULUAN

Bahan dasar pembuatan keramik gigi tiruan seperti kaolin, kuarsa, dan feldspar terus dilakukan dan dikembangkan untuk menghasilkan gigi tiruan yang memiliki kualitas lebih baik [1]. Pengguna gigi tiruan selalu mengharapkan gigi tiruan dapat berfungsi seperti pada saat pertama digunakan. Jadi, sebaiknya pengguna gigi tiruan agar lebih memperhatikan kesehatan gigi dan mulut, khususnya makanan atau minuman yang dikonsumsi oleh pengguna gigi tiruan seperti minuman teh [2].

Sebelumnya, Suarni dan juga Sidik Saputra Rahman (2013) telah melakukan penelitian tentang pembuatan gigi tiruan dari bahan porselen dan penambahan bubuk cangkang telur, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel gigi tiruan yang dibuat memiliki sifat mekanik yang memenuhi syarat untuk dapat diaplikasikan [3,4]. Pada penelitian ini berfokus pada kualitas sampel gigi tiruan setelah diberikan perlakuan perendaman dalam larutan teh hitam (*Camellia sinensis*).

Teh hitam merupakan salah satu minuman yang banyak dikonsumsi. Pengujian meliputi komposisi kimia, kekerasan dan kuat tekan.

II. BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan yang dalam pembuatan keramik gigi tiruan adalah feldspar, kaolin, kuarsa dan bubuk cangkang telur. Semuanya dalam bentuk bubuk ukuran diameter 0,05 mm. Sampel dengan komposisi perbandingan bahan 1:1:1:1 berbentuk kotak berukuran 10 mm x 10 mm menggunakan cairan *Vita Opaque Fluid* sebagai bahan perekat. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam *Muffle Furnace* untuk proses

pengeringan dengan suhu 100°C selama 2 jam dan dilanjutkan dengan proses pembakaran pada suhu 900°C secara bertahap. Setelah melalui proses pembakaran dilakukanlah pengujian komposisi kimia sampel dengan XRF (*X-Ray Fluorescence*), kekerasan dengan menggunakan metode pengujian *Brinell*, dan kuat tekan menggunakan *Universal Testing Machine*. Teh hitam (*Camellia sinensis*) dilarutkan dalam aquadest dengan volume (100 ml). Pengukuran pH larutan teh menggunakan pH meter digital. Selanjutnya, dilakukanlah proses perendaman sampel dalam larutan teh hitam (*Camellia sinensis*) dengan variasi waktu (1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam). Kemudian dilakukan lagi pengujian komposisi kimia, kekerasan dan kuat tekan pada sampel gigi tiruan.

III. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian komposisi kimia sampel keramik gigi tiruan dengan XRF dilakukan sebelum dan setelah perendaman dalam larutan teh hitam. Datanya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Hasil pengujian komposisi kimia

Waktu (jam)	Kadar Oksida (%)						
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃
0	40,96	48,77	8,79	0,405	0,33	-	-
1	39,25	49,40	9,64	0,451	0,37	-	-
2	39,60	52,25	6,52	0,539	-	-	-
3	41,64	49,19	7,61	0,428	0,35	-	-
4	40,75	48,48	9,16	0,406	0,34	-	-
5	42,93	48,93	7,27	0,498	-	-	-

Tabel menunjukkan bahwa sebelum perendaman dalam larutan teh kandungan CaO dan SiO₂ pada sampel sangat tinggi yaitu 48,77%, dan 40,96 % dan sangat baik digunakan dalam pembuatan gigi tiruan. Kandungan Al₂O₃ yang diperoleh cukup banyak. Diharapkan dengan kandungan Al₂O₃ cukup dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada bahan sampel gigi tiruan. Pengaruh perendaman larutan teh hitam tidak memberi perubahan yang berarti pada komposisi oksida dalam sampel.

Kandungan Fe₂O₃ dan K₂O yang diperoleh sangat rendah dan sesuai dengan yang diharapkan yaitu kurang dari 1,00 %, dan juga tidak ada kandungan MgO dan SO₃. Keempat senyawa tersebut merupakan senyawa yang dapat memberikan pengaruh terhadap kualitas warna pada sampel gigi tiruan.

Pengujian tingkat kekerasan sampel dilakukan sebelum dan setelah perendaman larutan teh hitam. Larutan teh hitam yang digunakan memiliki sifat asam dengan pH = 5,24 dan berada dibawah batas pH kritis (5,5). Larutan yang memiliki pH dibawah 5,5 apabila berkontak langsung dengan email (lapisan terluar) gigi manusia akan menyebabkan terjadinya proses demineralisasi. Demineralisasi merupakan proses perpindahan mineral dalam bentuk ion-ion mineral dari email gigi atau dikenal dengan kelarutan email [5]. Sehingga, nilai kekerasan sampel gigi tiruan yang diperoleh menjadi berkurang dari sebelum perendaman.

Hasil pengujian memperlihatkan penurunan nilai kekerasan dengan bertambahnya waktu perendaman dalam larutan teh hitam. Sifat asam dari larutan perendaman menyebabkan terjadinya proses demineralisasi dan kerapuhan pada sampel keramik untuk penggunaan sebagai gigi tiruan.

Tabel 2 Hasil uji kekerasan sampel

Sampel	Waktu (Jam)	Kekerasan (kg/mm ²)
K0	0	31,67
K1	1	20,80
K2	2	18,20
K3	3	17,51
K4	4	16,33
K5	5	15,22

Tabel 2 menunjukkan bahwa Nilai kekerasan yang diperoleh setelah perendaman mengalami penurunan secara signifikan seiring dengan lama waktu perendaman yang diberikan. Pada perendaman 1 jam sampai 5 jam nilai kekerasanyang diperoleh yaitu berturut-turut 20,80 kg/mm², 18,20 kg/mm², 17,51 kg/mm², 16,33 kg/mm², dan 15,22 kg/mm². Hal ini dipengaruhi dari tingkat keasaman (pH) larutan teh hitam yang bersifat asam (5,24) dan berada dibawah batas pH kritis. Kekerasan menurun hingga 50% setelah perendaman larutan teh hitam selama 5 jam. Hal yang serupa dilaporkan oleh Edhie Arif Prasetyo dalam penelitiannya pada keasaman minuman ringan [6].

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan memberikan tekanan tertentu pada permukaan sampel untuk melihat kemampuan bahan menahan tekanan yang menyebabkan benda atau bahan tersebut mengalami kerusakan. Hasil pengujian kuat tekan sampel gigi tiruan sebelum dan setelah perendaman dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3 Hasil uji kuat tekan

Sampel	Waktu (Jam)	Kuat tekan (kg/mm ²)
K0	0	15,57
K1	1	10,63
K2	2	9,86
K3	3	9,52
K4	4	9,37
K5	5	5,45

Sama halnya dengan hasil pengujian kekerasan, nilai kuat tekan yang diperoleh juga mengalami penurunan setelah dilakukan perendaman bahkan hasil yang diperoleh lebih rendah dari pada nilai kekerasannya baik sebelum perendaman maupun setelah perendaman. Semakin lama waktu perendaman sampel gigi tiruan dalam larutan yang bersifat asam (larutan teh hitam) maka akan semakin banyak pula ion-ion mineral struktur penyusun dari gigi yang terlepas sehingga mempengaruhi kekuatan pada sampel gigi tiruan.

Selain itu, hal tersebut juga dipengaruhi dari kandungan zat tannin dan kafein yang terdapat dalam larutan teh hitam. Tannin dan kafein merupakan senyawa yang dapat meningkatkan terjadinya perubahan warna pada gigi manusia [7].

IV. KESIMPULAN

Telah dibuat sampel keramik gigi tiruan dari bahan alam (feldspar, kaolin, kuarsa, cangkang telur) dengan perbandingan komposisi 1:1:1:1 pada suhu 900 °C. Diperoleh kandungan CaO 48,77 %, SiO₂ 40,96 %, Al₂O₃ 8,79 %, Fe₂O₃ 0,405 % dan K₂O 0,33 %.

Nilai pH pada larutan teh hitam bersifat asam yaitu 5,24 dan mempengaruhi kualitas keramik gigi tiruan secara signifikan seiring dengan lama waktu perendaman yang diberikan. Hal ini terlihat pada pengujian kekerasan dan kuat tekan yang cenderung menurun dengan lama waktu perendaman larutan teh hitam.

REFERENSI

- [1] Ihfa Indira Nurnaifah Idris. 2012. Pembuatan Gigi Tiruan Berbasis Bahan Porselen dan Pengujian Sifat Fisiknya. [Skripsi]. Makassar: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- [2] Irwan Baga, Sri Handajani, Aldila Rahma Putri. 2001. Efek Lama Perendaman Resin akrilik Heat Cured dalam Minuman Teh Hijau (*Camellia sinensis*) terhadap Perubahan Warna. Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Brawijaya. Suarni. 2013. Analisis Pengaruh Komposisi Penambahan Bubuk Cangkang Telur terhadap Sifat Fisik Biokeramik. [Skripsi]. Makassar: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- Sidik Saputra Rahman. 2013. Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik pada Gigi Tiruan. [Skripsi]. Makassar: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- [3] Muh. Talib Abdul Latif. 2012. Kelarutan Magnesium Email pada Perendaman Gigi dalam Minuman yang Mengandung Asam Bikarbonat dan Asam Sitrat (In Vitro). [Skripsi]. Makassar: Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin.
- [4] Edhie Arif Prasetyo. Keasaman Minuman Ringan Menurunkan Kekerasan Permukaan Gigi. *Maj Ked Gigi. J Dent.* 2005 Apr-Jun 38(2): 60-63.
- [5] Ririn Yuningsih, Samingan, & Muhibbuddin. Pengaruh Berat dan Lama Waktu Penyeduhan terhadap Kadar Kafein Teh. *J Biologi Edukasi.* 2012 Des 4(2): 82-87.

Analisis Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Rugi Daya Sensor Pergeseran Konfigurasi Lurus Berbasis Serat Optik Plastik

Arifin*

Jurusan Fisika FMIPA UNHAS, Makassar

*Email: arifinpide@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini membahas tentang sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik dan menganalisis pengaruh suhu terhadap rugi daya pada sensor. Sensor pergeseran dibuat dari bahan serat optik plastik yang dipasang pada *microdisplacement* dan plat tetap yang diletakkan dalam ruang pemanas dengan suhu yang dapat diatur. Sumber cahaya LED infra merah memancarkan cahaya ke dalam sensor serat optik dan diteruskan ke detektor cahaya yang tersambung dengan *optical power meter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada sensor pergeseran konfigurasi lurus terjadi perubahan rugi daya pada sensor sebanding dengan perubahan pergeseran yang diterapkan pada sensor. Pengujian pengaruh suhu terhadap rugi daya pada sensor pergeseran dilakukan dengan mengukur rugi daya setiap perubahan suhu 2°C mulai dari 26°C sampai dengan 70°C . Hasil penelitian menunjukkan bahwa rugi daya sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik berubah sebanding dengan perubahan suhu pada sensor.

Kata Kunci: Pengaruh suhu, sensor pergeseran, dan serat optik plastik

I. PENDAHULUAN

Pada era sepuluh tahun terakhir ini, perkembangan teknologi sensor berbasis serat optik telah berkembang sangat pesat. Sensor berbasis serat optik telah mendapatkan perhatian besar bagi sebagian peneliti dan kalangan industri tertentu. Sensor berbasis serat optik telah diteliti dan terbukti mampu untuk mendeteksi dan mengukur parameter fisika, kimia dan berbagai aplikasi lainnya. Penggunaan sensor berbasis serat optik merupakan alternatif yang sangat menjanjikan dan memiliki berbagai macam keunggulan dibanding dengan sensor konvensional sebelumnya. Keunggulan dari sensor berbasis serat optik antara lain adalah tidak menggunakan sinyal listrik, derau rendah karena tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik, sensitivitas dan akurasi pengukuran yang tinggi, ukuran yang lebih kecil dan ringan, serta dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka [1].

Serat optik plastik (*Plastic Optical Fiber = POF*) adalah salah satu jenis serat optik yang telah banyak dikembangkan menjadi sensor. Berbagai macam hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien regangan serat optik plastik lebih besar dibandingkan dengan serat berbahan silika dan memberikan kinerja yang lebih stabil [2-5]. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa sensor serat optik plastik mempunyai

kemampuan untuk mengukur regangan tinggi yang terdistribusi sepanjang serat optik plastik dengan menggunakan teknik *optical time-domain reflectometry* (OTDR) [6]. Serat optik plastik dapat memberikan solusi alternatif untuk realisasi sensor untuk aplikasi rekayasa struktur yang dapat menghasilkan kinerja serupa dengan serat optik silika, namun dengan sistem interogasi yang sangat mudah dan biaya instalasi murah. Kelebihan lain dari sensor serat optik plastik adalah kemampuan untuk mengukur kuantitas fisik yang ditransmisikan ke seluruh panjang serat optik. Oleh karena fleksibilitas geometrisnya, maka dengan mudah dapat diintegrasikan ke berbagai struktur. Dalam pemakaiannya, serat optik plastik juga mempunyai kelemahan yaitu mempunyai redaman tinggi dan kapasitas (*bandwidth*) yang lebih rendah dibanding serat optik silika [7].

Pada penelitian ini akan dibuat sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik dengan satu arah pergeseran. Sensor pergeseran konfigurasi lurus ini berbeda dengan konfigurasi melengkung yang dibuat sebelumnya. Sensor pergeseran konfigurasi melengkung dengan menerapkan perubahan kelengkungan (*bending*) dan pemanjangan (*elongation*) pada serat optik plastik [8]. Kelebihan dari konfigurasi lurus dibandingkan dengan konfigurasi melengkung adalah pemasangan sensor lebih mudah dan metode

pengukuran yang sederhana. Prinsip kerja sensor pergeseran konfigurasi lurus adalah terjadinya perubahan rugi daya sensor akibat perubahan panjang pada serat optik yang searah dan sebanding dengan perubahan pergeseran.

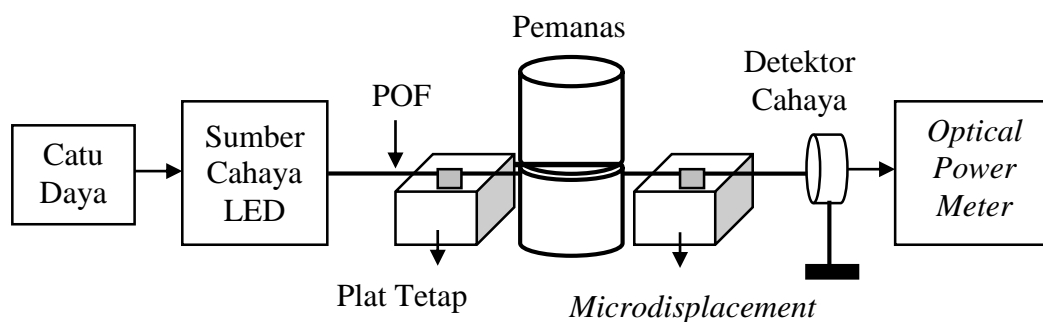
Selanjutnya pada penelitian ini akan menganalisa pengaruh perubahan suhu terhadap perubahan rugi daya pada sensor pergeseran berbasis serat optik plastik. Pada penerapan sensor pergeseran berbasis serat optik plastik, variabel suhu merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi perubahan rugi daya pada sensor. Oleh karena itu, pengukuran pengaruh suhu pada sensor pergeseran sangat dibutuhkan untuk melakukan koreksi terhadap rugi daya pada sensor. Sehingga rugi daya pada sensor sebanding dengan pergeseran yang terjadi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh hasil pengukuran sensor pergeseran konfigurasi lurus yang lebih akurat dan terkoreksi oleh perubahan suhu lingkungan di sekitarnya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Serat optik plastik yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis serat moda-jamak indeks tangga (*multi-mode step index*) dengan panjang 30 cm. Sensor berbasis serat optik plastik menggunakan serat Mitsubishi Rayon SH-4001 dengan diameter lapisan jaket,

selubung, dan inti masing-masing adalah 2,2 mm, 1 mm, dan 0,98 mm. Serat optik ini memiliki *numerical aperture* (NA) sebesar 0,5 dengan temperatur operasional adalah -45°C sampai dengan $+85^{\circ}\text{C}$. Material inti dan selubung serat optik yang digunakan terbuat dari bahan polymethyl metacrylate (PMMA) dan *fluorinated polymer*. Indeks bias inti dan selubung serat optik masing-masing adalah $n_{\text{inti}} = 1,492$ dan $n_{\text{selubung}} = 1,402$.

Pada kedua ujung serat optik plastik dihubungkan dengan sumber cahaya LED infra merah dan detektor sebagai penerima cahaya. Sensor pergeseran terbuat dari serat optik plastik dengan jaket dikupas pada bagian tengah sepanjang 12 cm. Bagian ini berfungsi sebagai sensor yang terdiri dari inti dan selubung. Pada salah satu ujung sensor disambungkan dengan LED infra merah (IF-E91A yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 950 nm. Ujung sensor lainnya disambungkan dengan detektor cahaya tipe S120C dengan panjang gelombang 400 sampai dengan 1100 nm yang dihubungkan dengan *optical power meter* jenis Thorlabs PM100D. Skema sensor pergeseran dan pengaruh suhu terhadap rugi daya pada sensor dengan konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema sensor pergeseran dan pengaruh suhu terhadap rugi daya

Cahaya dari LED infra merah ditransmisikan melalui serat optik plastik, kemudian diterima oleh detektor cahaya dan diteruskan ke *optical power meter*. Ketika terjadi perubahan pergeseran atau perubahan suhu pada sensor, maka serat optik plastik mengalami gangguan berupa perubahan deformasi oleh akibat

perubahan pergeseran atau suhu tersebut. Perubahan deformasi dalam bentuk perubahan panjang, jari-jari, dan perubahan indeks bias pada serat optik plastik yang dapat menimbulkan perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh detektor cahaya. Perubahan intensitas cahaya pada detektor akan

mengakibatkan perubahan rugi daya yang terukur pada *optical power meter* oleh akibat perubahan pergeseran atau perubahan suhu tersebut. Pengukuran rugi daya sensor pergeseran diukur pada setiap perubahan suhu 2°C mulai dari 26°C sampai dengan 70°C. Penentuan range suhu pengukuran ini ditentukan berdasarkan range suhu operasional yang aman digunakan pada serat optik plastik.

III. HASIL DAN DISKUSI

Prinsip dasar sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik adalah terjadinya pertambahan panjang pada serat optik plastik akibat pergeseran yang diterapkan pada *microdisplacement*. Hal ini menyebabkan perubahan rugi daya sensor yang terukur pada *optical power meter*. Jika pergeseran diterapkan pada sensor serat optik plastik untuk menginduksi pertambahan panjang, jari-jari dan indeks bias, maka dapat dinyatakan sebagai [9]:

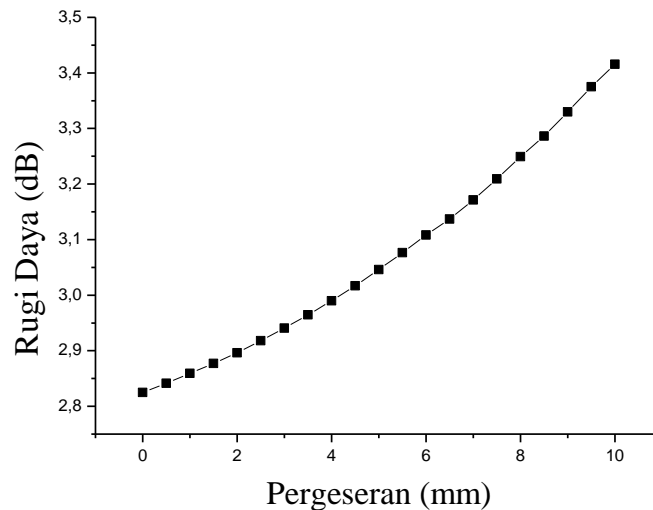
$$\Delta L = L \varepsilon \quad (1)$$

$$\Delta a = -\sigma a \varepsilon \quad (2)$$

$$\Delta n_i = -\frac{n_i^3}{2} [p_{12} - \sigma(p_{11} + p_{12})] \varepsilon = -p_e \varepsilon \quad (3)$$

dimana L dan a adalah panjang dan jari-jari inti serat optik plastik, n_i adalah indeks bias inti atau selubung dari serat optik polimer, p_{11} dan p_{12} adalah koefisien Pockels, p_e adalah koefisien regangan optik efektif, dan σ adalah *Poisson ratio*. Untuk serat optik yang digunakan terbuat dari bahan PMMA, dengan koefisien Pockels adalah $p_{11} = 0,300$ dan $p_{12} = 0,297$ serta rasio Poisson adalah $\sigma = 0,34$ [10].

Setelah dilakukan fabrikasi sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik sesuai dengan skema yang telah dibuat, maka selanjutnya dilakukan pengujian pada sensor pergeseran. Pengujian dilakukan dengan mengukur rugi daya sensor pada setiap perubahan pergeseran 0,5 mm, mulai dari 0 sampai dengan 10 mm. Data hasil pengukuran perubahan rugi daya terhadap pergeseran pada sensor berbasis serat optik plastik dapat diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Variasi rugi daya terhadap pergeseran pada sensor konfigurasi lurus

Data hasil pengukuran rugi daya terhadap perubahan pergeseran pada sensor konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik dapat dianalisis dengan menghitung nilai range rugi daya, sensitivitas, dan resolusinya. Perhitungan range rugi daya dapat diketahui dari rugi daya maksimum dikurangi dengan rugi daya minimum, seperti pada persamaan berikut:

$$\Delta = dB_{max} - dB_{min} \quad (4)$$

Sedangkan sensitivitas dapat diketahui berdasarkan gradien dari grafik dan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$S = \frac{dB_{max} - dB_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (5)$$

dimana X_{max} adalah pergeseran maksimum dan X_{min} adalah pergeseran minimum.

Resolusi pengukuran adalah merupakan nilai terkecil yang mampu dideteksi oleh alat ukur. Resolusi sensor pergeseran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{N}{S} \quad (6)$$

dimana N adalah skala terkecil yang dapat dideteksi oleh *optical power meter* yaitu 0,001 dB, sehingga nilai resolusi dapat dihitung berdasarkan data sensitivitas di atas.

Data dari hasil pengukuran rugi daya terhadap perubahan pergeseran pada sensor berbasis serat optik plastik konfigurasi lurus dapat dianalisis menggunakan persamaan (4), (5), dan (6). Dari hasil perhitungan karakteristik sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik, maka diperoleh range rugi daya adalah 0,591 dB, sensitivitas adalah 0,059 dB/mm dan resolusi adalah 0,017 mm. Perubahan rugi daya sebanding dengan perubahan pergeseran yang diterapkan pada sensor. Semakin besar pergeseran yang diterapkan pada sensor, maka semakin besar pula rugi daya yang terjadi pada sensor. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa perubahan pergeseran pada sensor berbasis *polymer fiber bragg grating* sebanding dengan perubahan pergeseran panjang gelombang [2].

Pengujian selanjutnya adalah untuk menganalisis pengaruh suhu lingkungan terhadap rugi daya pada sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh suhu terhadap perubahan rugi daya sensor pergeseran berbasis serat optik plastik. Hasil penelitian pengaruh suhu terhadap rugi daya dapat digunakan untuk menentukan hasil pengukuran pergeseran secara akurat. Hasil pengukuran pengaruh suhu terhadap rugi daya pada sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik secara lengkap ditampilkan seperti pada Gambar 3.

Terdapat dua parameter yang menjadi ciri pengaruh suhu pada serat optik plastik yaitu koefisien muai panas (*Thermal Expansion Coefficient = TEC*) dan koefisien termo-optik (*Thermo-Optic Coefficient = TOC*). Koefisien muai panas mencirikan pemuaian fisik atau kontraksi volume material, sedangkan koefisien termo-optik mencirikan perubahan indeks bias sebagai respon dari perubahan suhu. Pada serat optik plastik PMMA yang digunakan memiliki

koefisien muai panas yaitu $\alpha = 70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$ dan koefisien termo-optik yaitu $\beta = -1,2 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{K}$ [10]. Dengan menggunakan koefisien muai panas dan koefisien termo-optik, maka perubahan panjang serat optik (ΔL), perubahan jari-jari inti (Δa), dan perubahan indeks bias (Δn) akibat dari perubahan suhu (ΔT) pada sensor, dapat dinyatakan [9]:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (7)$$

$$\Delta a = \alpha a \Delta T \quad (8)$$

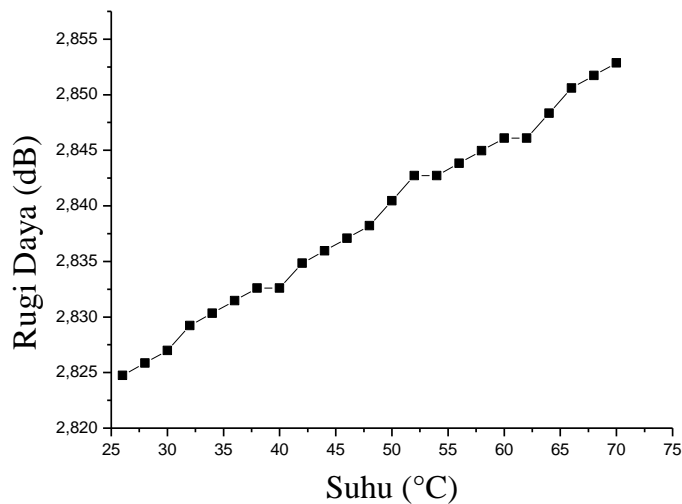
$$\Delta n = \beta n \Delta T \quad (9)$$

dimana α adalah koefisien muai panas dan β adalah koefisien termo-optik.

Suhu pada sensor pergeseran dan suhu lingkungan sekitarnya dipantau menggunakan termokopel. Pengaturan perubahan suhu melalui pemanas dengan penerapan isolasi termal dan membatasi kecepatan pemanasan yaitu $1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Terjadinya perubahan suhu pada sensor mengakibatkan pemuaian baik panjang maupun jari-jari, dan perubahan indeks bias pada serat optik plastik yang menimbulkan terjadinya rugi-rugi daya sepanjang sensor. Dari hasil pengukuran pengaruh suhu terhadap rugi daya pada sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik menunjukkan bahwa rugi daya semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu.

Dari hasil analisis data pengaruh suhu terhadap rugi daya pada sensor pergeseran konfigurasi lurus menunjukkan bahwa semakin tinggi pergeseran, maka semakin tinggi pula rugi daya pada sensor. Nilai karakteristik pengaruh suhu terhadap rugi daya diperoleh range rugi daya adalah 0,028 dB, sensitivitas adalah $0,402 \text{ mdB}/^{\circ}\text{C}$, dan sensitivitas suhu persatuan panjang adalah $3,35 \text{ mdB}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$. Semakin tinggi suhu pada sensor, maka semakin besar rugi daya pada sensor. Sangat menarik dicatat bahwa sensor dari serat optik plastik berbeda dengan serat optik silika. Serat optik plastik memiliki koefisien termo-optik negatif, karena efek dominan dari perubahan kepadatan dengan suhu [9].

Jika diasumsikan bahwa perubahan suhu lingkungan yang dapat terjadi selama sehari pengukuran adalah 5°C , maka perubahan rugi daya sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik adalah $\Delta \text{dB} = 0,402 \text{ mdB}/^{\circ}\text{C} \times 5^{\circ}\text{C} = 0,002 \text{ dB}$. Sedangkan sensitivitas sensor pergeseran konfigurasi lurus



Gambar 3. Variasi rugi daya terhadap suhu pada sensor pergeseran konfigurasi lurus

berbasis serat optik plastik dengan panjang sensor 12 cm yang diperoleh di atas adalah 0,059 dB/mm dan resolusinya adalah 0,017 mm. Jika perubahan rugi daya yang terjadi selama proses pengukuran dibagi dengan sensitivitas sensor pergeseran, maka perubahan pergeseran yang dapat terjadi adalah $\Delta x = 0,034$ mm. Sehingga persentase perubahan pergeseran yang dapat terjadi selama sehari proses pengukuran pada sensor pergeseran dengan rentang pergeseran dari 0 sampai dengan 10 mm adalah $\frac{0,034 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \times 100\% = 0,34\%$. Nilai persentase perubahan pergeseran ini sangat kecil dan dapat dianggap bahwa pengaruh suhu lingkungan dalam sehari proses pengukuran tidak signifikan berpengaruh terhadap rugi daya pada sensor pergeseran.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah menghasilkan sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar pergeseran yang diterapkan pada sensor, maka semakin besar pula rugi daya yang terjadi pada sensor. Nilai sensitivitas dan resolusi sensor pergeseran konfigurasi lurus adalah 0,059 dB/mm dan resolusi adalah 0,017 mm. Hasil pengujian pengaruh suhu terhadap perubahan rugi daya pada sensor pergeseran menunjukkan bahwa sensitivitasnya adalah 0,402 mdB/°C dan sensitivitas suhu persatuan panjang adalah 3,35 mdB/°C.m⁻¹. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa pengaruh perubahan suhu lingkungan (sekitar 5°C/hari) dalam proses pengukuran tidak signifikan

terhadap perubahan rugi daya pada sensor pergeseran konfigurasi lurus berbasis serat optik plastik.

REFERENSI

- [1] Fidanboyly, K., and Efendioglu, H. S. 2009. Fiber Optic Sensors and Their Applications. *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS)*, May 13-15, pp. 1-6.
- [2] Liu, H. B., Liu, H. Y., Peng, G. D. Peng, and Chu, P. L. 2003. Strain and Temperature Sensor Using A Combination Of Polymer and Silica Fibre Bragg Gratings, *Optics Communications*, vol. 219, pp. 139–142.
- [3] Liu, H. Y., Liu, H. B., and Peng, G. D. 2005. Strain Sensing Characterization of Polymer Optical Fibre Bragg Gratings, *Proceedings of SPIE*, vol. 5855, pp. 663-666.
- [4] Kiesel, S., Peters, K., Hassan T., and Kowalsky M. 2007. Behaviour of Intrinsic Polymer Optical Fibre Sensor for Large-Strain Applications, *Measurement Science and Technology*, vol. 18, pp. 3144-3154.
- [5] Yuan, W., Stefani, A., Andresen, S., and Bang, O. 2010. Tensile Strain and Temperature Characterization of FBGs in Preannealed Polymer Optical Fibers, *Opto Electronics and Communications Conference (OECC) Technical Digest*, Sapporo Convention Center, Japan, pp. 810-811.

- [6] Liehr, S., Lenke, P., Wendt, M., Krebber, K., Seeger, M., Thiele, E., Metschies, H., Gebreselassie B., and Christian M. J. 2009. Polymer Optical Fiber Sensors for Distributed Strain Measurement and Application in Structural Health Monitoring, *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 11, pp. 1330-1338.
- [7] Perrone, G., and Vallan A. 2008. A Displacement Measurement System Based on Polymer Optical Fibers, *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, May 12-15, Victoria, Vancouver Island, Canada, pp. 1-5.
- [8] Arifin. 2015. Pengembangan Sensor Regangan dan Pergeseran Berbasis Serat Optik, Disertasi Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.
- [9] Hatta, A. M., Semenova, Y., Wu, Q., and Farrell, G. (2010d), "Strain Sensor Based on A Pair of Singlemode- Multimode-Singlemode Fiber Structures in A Ratiometric Power Measurement Scheme", Optical Society of America. *Applied Optics*, vol. 49, no. 3, pp. 536-541.
- [10] Lopez, M. S., Fender, A., MacPherson, W. N., Barton, J. S., and Jones, J. D. C. 2005. Strain and Temperature Sensitivity of A Single-Mode Polymer Optical Fiber, *Optics Letters*, vol. 30, no. 23, pp. 3129-3131.

Impedansi Antena Mikrostrip Model Dasi Kupu-Kupu Dengan Konektor Terpusat

Bualkar Abdullah*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar

*Email: bualkar36@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis perhitungan impedansi pada antenna mikrostrip slot model dasi kupu-kupu konektor terpusat dengan pandu gelombang *coplanar* sebagai pencatu. Penelitian dilakukan dengan dua tahapan yaitu menghitung impedansi slot sejajar (dua antenna segitiga) kemudian diputar secara berlawanan arah sebesar 90° , tahapan berikutnya adalah menggeser antenna model segitiga tadi saling mendekat sedemikian sehingga diperoleh perbandingan antara slot dan patch adalah 1:2. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya keesuaian dengan metode Smith Chart dan hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan Vector Network Analyzer (VNA).

Kata Kunci: Impedansi, antenna model dasi kupu-kupu dan Smith Chart

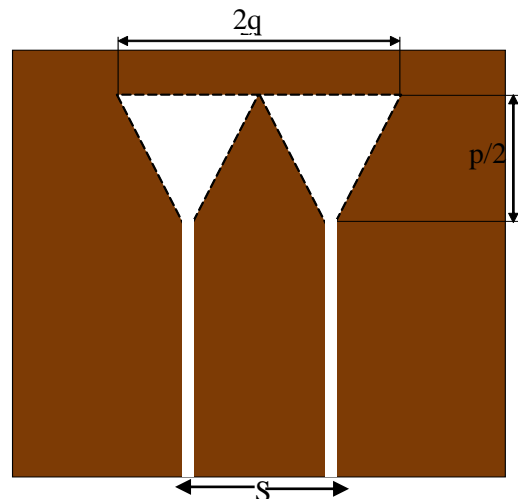
I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi begitu pesatnya belakangan ini secara kualitas maupun kuantitas, kebutuhan kapasitas media informasi yang besar sangat dibutuhkan agar informasi dapat dikirim dalam jumlah yang banyak secara cepat, tepat kapan dan dimanapun. Salah satu komponen yang sangat berperan untuk kebutuhan tersebut adalah antenna¹⁾. Antena yang dibutuhkan harus ringan, ukuran kecil, memiliki bandwidth yang lebar dan beberapa persyaratan lainnya²⁾. Antena yang memenuhi kriteria tersebut adalah antenna mikrostrip yang dapat berfungsi sebagai transmisi maupun sebagai receiver.

Antena mikrostrip adalah antenna yang memiliki ukuran yang kecil dan ringan, terbuat dari papan rangkaian dengan 1 atau 2 lapisan logam yang salah satu sisinya berfungsi sebagai penerima/pemancar dan satunya lagi sebagai ground plan dengan tebal yang sangat kecil³⁾. Berbagai macam antenna mikrostrip telah dihasilkan dengan berbagai macam tipe dan kemampuan transmisi/penerima yang berbeda sesuai dengan peruntukannya. Antena mikrostrip model dasi kupu-kupu telah dibuat dan dilakukan pengukuran impedansinya dengan menggunakan VNA⁴⁾. Pada penelitian ini dilakukan analisis secara teoritis dengan menggunakan pandu gelombang coplanar dengan konektor terpusat.

II. METODOLOGI

Karakteristik impedansi elemen *Bowtie* dapat dilakukan dengan ilustrasi pada Gambar 1.



Gambar 1. Coplanar Waveguide dengan Triangular⁵⁾.

Dalam Gambar tersebut, s adalah *stripline* yang lebar awalnya sama dengan alas segitiga (q) yang makin keatas lebarnya semakin kecil, sedangkan w adalah *width line* yang semakin keatas semakin besar. Karakteristik Impedansi model antenna tersebut dapat di analisis sebagai berikut⁶⁾,

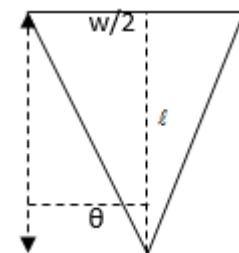
$$\tan \theta = \frac{w/2}{\ell}, w = 2 \ell \tan \theta = 0,7$$

$$dw = 2 \tan \theta d\ell$$

$$w/2 = 0,7 d\ell$$

Dari persamaan⁷⁾

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)}$$



$$Z_0 = A \ln \left(\frac{1 + \left(1 - \left(\frac{s}{s+2w}\right)^2\right)^{1/4}}{1 - \left(1 - \left(\frac{s}{s+2w}\right)^2\right)^{1/4}} \right);$$

dengan, $A = \frac{30}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = 19,48$, maka

$$Z_0 = A \ln \left(\frac{1 + \left(1 - \left(\frac{s}{s+2w}\right)^2\right)^{1/4}}{1 - \left(1 - \left(\frac{s}{s+2w}\right)^2\right)^{1/4}} \right) \quad (1)$$

$$Z_0 = f(s, w)$$

$$s = f(l) \text{ dan } w = f(l)$$

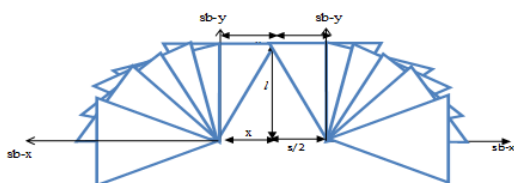
$$\frac{\partial Z_0}{\partial l} = \left(\frac{\partial Z_0}{\partial w} \frac{\partial w}{\partial l} + \frac{\partial Z_0}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial l} \right) A$$

$$Z_0 = \int \left\{ \frac{s^2 + ws}{(s+2w)^3} \frac{4 \tan \theta}{1 - \left[1 - \left(\frac{s}{s+2w}\right)^2\right]^{1/2}} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{s}{s+2w}\right)^2\right]^{3/4}} \right\} A dl \quad (2)$$

Untuk mendapatkan elemen model dari kupu-kupu dilakukan dua tahap, pertama adalah memutar segitiga tersebut dengan arah yang saling berlawanan masing-masing sebesar 90° dan yang kedua adalah menggeser kedua segitiga tersebut pada arah yang saling mendekat sedemikian sehingga sesuai dengan jarak s yang diinginkan. Perputaran segitiga mengakibatkan impedansinya semakin besar. Pergeseran elemen segitiga yang saling mendekat mengakibatkan impedansinya semakin kecil.

Perputaran segitiga tidak menyebabkan perubahan pada parameter width line (w), tetapi akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada slot line (s) sehingga impedansi masukan pada antenna tersebut juga berubah⁸⁾ (Edward, T, 1995).

Pada Gambar 2 segitiga di putar ke arah kanan masing-masing; masing $18,52^\circ$, 30° , 45° , 60° dan $71,08^\circ$ terhadap sumbu y . Begitu juga dengan segitiga lainnya diputar ke arah kiri pada sudut yang sama besar terhadap sumbu y . Hasilnya diperoleh seperti ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Geometri perputaran segitiga

Tabel 1 Pengaruh Perubahan Impedansi akibat perubahan sudut

Sudut ϕ	$18,52^\circ$	30°	45°	60°	$71,08^\circ$	90°
Z_{0BSA}	198,93	219,85	237,67	248,10	252,66	255,50

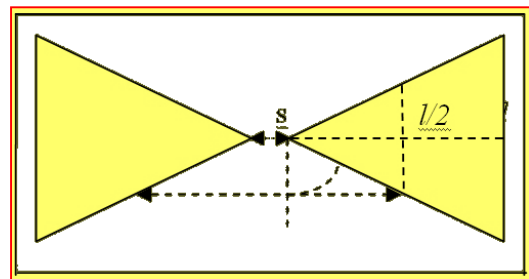
Tabel 2 Pengaruh Perubahan Impedansi BSA akibat perubahan s

Sudut ϕ	$18,52^\circ$	30°	45°	60°	$71,08^\circ$	90°
Z_{0BSA}	198,93	219,85	237,67	248,10	252,66	255,50

Data pada Tabel 1, menunjukkan bahwa makin besar sudut putarnya semakin besar pula impedansinya. Hal ini disebabkan oleh mengecilnya kapasitansinya karena jarak semakin besar.

Selanjutnya adalah menggeser kedua segitiga (*width line Coplanar*) tersebut ke arah yang saling mendekati sedemikian sehingga jarak antara kedua width line tersebut sesuai dengan yang diinginkan (Gambar 3), hasilnya diperoleh pada Tabel 2. Pergeseran ini menyebabkan perubahan kapasitansi menjadi lebih besar sehingga impedansinya semakin kecil. Penentuan jarak ini (disebut sebagai *slot line* atau *slot width*) akan mempengaruhi impedansi masukan dari antenna, makin kecil lebar slot linanya semakin kecil impedansi masukan yang dihasilkan. Selain dari pada itu, kemampuan alat yang digunakan untuk fabrikasi juga perlu diperhatikan dalam menentukan lebar slot line untuk memudahkan proses fabrikasi yang dilakukan.

Pergeseran posisi kedua elemen yang saling mendekat tersebut sampai dengan pada jarak yang diinginkan tidak lagi melibatkan parameter lain selain parameter s (*slot width*) itu sendiri, sehingga impedansi masukan pada elemen tersebut dapat dihitung pada posisi akhir (elemen sudah berbentuk *Bowtie*), diperoleh impedansi masukan sebagai berikut:



Gambar 3. Posisi akhir kedua segitiga

Pasangan segitiga sebagaimana (Gambar 3) disebut sebagai bentuk *Bowtie* dan diperoleh,

$$Z_0(BSA_1) = 8.22 A \tan \theta \ln \ell \quad ; \ell = \frac{y \sin \varphi}{\tan \theta}$$

$$Z_0(BSA_1) = 8.22 A \tan \theta \cdot \left(\ln \frac{s}{2 \tan \theta} \right)$$

$$= 227,6 \text{ Ohm}$$

III. KESIMPULAN

1. Karakteristik impedansi antenna yang diperoleh menunjukkan adanya kesesuaian dengan hasil impedansi pada hasil pengukuran (Abdullah, B., 2012)
2. Karakteristik impedansi juga sangat dipengaruhi oleh lebar slot dan widthline nya

REFERENSI

- [1] Young, L., Haider, S., Neve, M., (2003), "Microstrip Patch Antennas for Broadband Indoor Wireless system", *Part 4 Project Report, Department of Electrical and Electronics Engineering, The University of Auckland Faculty of Engineering*. Tetuko, S.J., (2004), "Analisis Gelombang elektromagnetik dengan menggunakan Finite Difference Time Domain (FDTD)", Penerbit ITB, Bandung.
- [2] Balanis, C. A, (2005), "Antenna Theory Analysis and Design", third edition, John Wiley & Sons, New York.
- [3] Abdullah, B., (2014), "Seminar Nasional Fisika 2014.
- [4] Abdullah, B., Pramono, H., Y., and Yahya, E., (2011), Radiation Characteristics of panel microstrip antenna 3 array slot double Bowtie with CPW Feed Line for 2.4 GHz Communication, *International Journal of Engineering and Sciences*, Vol. 11.No.01.
- [5] Abdullah, B., Pramono, H., Y., and Yahya, E., (2011), "Characteristics of panel microstrip antenna 3 array slot double Bowtie with CPW for 2.4 GHz Communication", *International Conference on Mathematics and Sciences*, Surabaya.
- [6] Gupta, K., C., Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., (1996), Microstrip Lines and Slotlines, Second Edition, Noorwod: Artech House, Boston, London.
- [7] Hund, E., (1989), "Microwave Communication, Component and Circuit", McGraw-Hill, New York.

Sensor Serat Optik Plastik Berbasis Modulasi Intensitas Cahaya untuk Pengukuran Massa

Yusran dan Arifin*

Jurusan Fisika FMIPA UNHAS

*Email: arifinpide@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sensor massa berbasis serat optik plastik dengan teknik lekukan besar (*macrobending*). Sensor berbasis modulasi intensitas menggunakan sumber cahaya dioda infra merah, serat optik plastik dan fototransistor. Sensor serat optik plastik dibuat dengan model loop yang diletakkan di antara dua pelat yang dihubungkan dengan pegas sebagai penyanggah. Perubahan massa akan mengakibatkan perubahan diameter *loop* yang menimbulkan bertambahnya lekukan pada sensor serat optik. Semakin besar lekukan (*bending*) pada sensor akan menyebabkan rugi daya bertambah dan tegangan keluaran pada alat ukur semakin kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan massa terukur sebanding dengan perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan.

Kata Kunci: Lekukan, sensor massa, dan serat optik plastik

I. PENDAHULUAN

Teknologi sensor merupakan salah satu teknologi yang berkembang pesat di seluruh dunia. Para ilmuwan telah banyak membuat sensor sesuai dengan kegunaan dan fungsinya masing-masing, sampai pada serat optik yang dapat diaplikasikan sebagai sensor multi-guna dalam berbagai bidang pengukuran dengan beberapa keunggulan dalam hal sensitivitas, selektivitas, reversibilitas, fleksibilitas, akurasi, ukuran yang lebih kecil dan ringan [1].

Pada perkembangannya, sensor serat optik telah banyak di buat untuk berbagai aplikasi seperti dalam pengukuran suhu yang telah di buat dan dilaporkan oleh Mustapha dkk. [2]. Dalam aplikasi deteksi pergeseran oleh Arifin dkk. [1], Jao-Hwa dkk. [3]. Pada bidang sensor tekanan yang telah diteliti oleh Mejia dkk. [4], De En dkk. [5]. Sensor serat optik juga di aplikasikan dalam pengukuran beban oleh Tosi dkk. [6], pengukuran keretakan oleh Uva dkk. [7], medan listrik oleh Ishizuka dkk. [8] dan bidang lainnya yang memanfaatkan kelebihan serat optik.

Salah satu yang menarik perhatian adalah sensor beban berbasis serat optik yang saat ini telah marak di kembangkan, baik itu untuk beban statis maupun beban dinamis (*Weight In Motion = WIM*). Beberapa penelitian sebelumnya telah membuat sensor beban memanfaatkan perubahan intensitas cahaya pada serat optik, seperti pada penelitian Malla dkk. dalam jurnalnya yang melakukan penelitian pengukuran baban kendaraan yang berjalan [9].

Pada penelitian lainnya oleh Červeňová dkk. dalam jurnalnya, penelitian sensor beban di buat dengan metode perlakuan beberapa lekukan kecil (*microbending*) untuk jarak tertentu pada saat sensor di beri beban [10]. Pada kedua penelitian tersebut memanfaatkan prinsip perubahan intensitas cahaya akibat terjadinya lekukan pada serat optik yang selanjutnya di deteksi oleh detektor cahaya. Sebagai indikator pengukuran, perubahan intensitas cahaya menunjukkan bahwa rugi daya semakin bertambah sehingga prinsip ini banyak diaplikasikan dalam sistem sensor serat optik dan tidak hanya pada sensor beban, tetapi sensor lainnya pun menggunakan indikator ini.

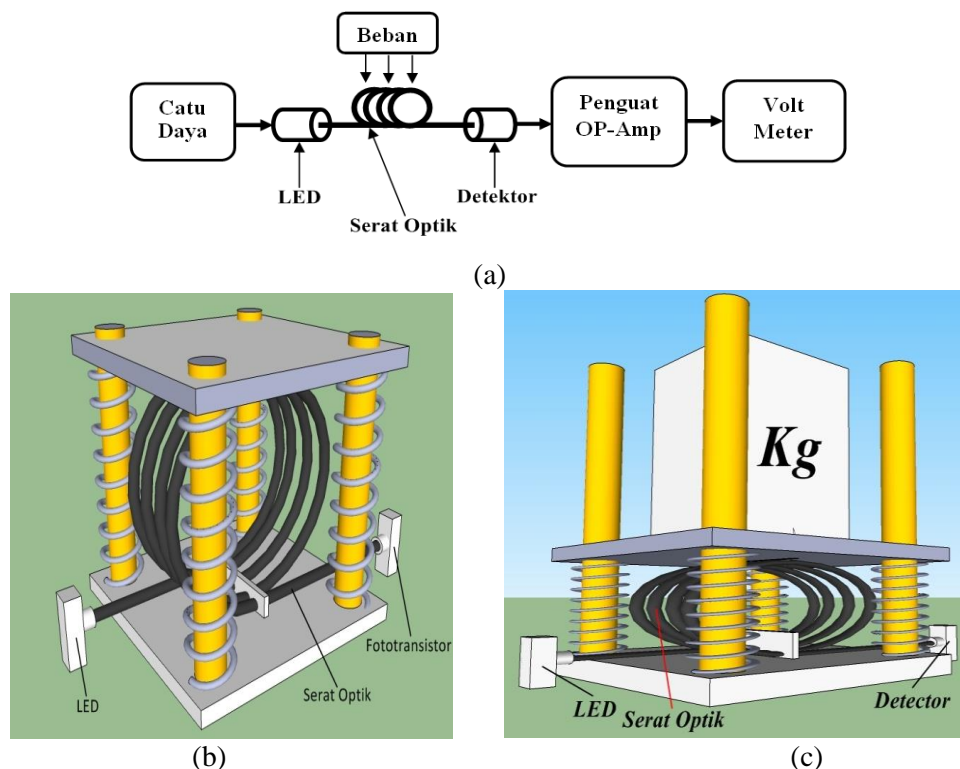
Dalam penelitian ini akan dibuat sensor massa yang juga memanfaatkan prinsip perubahan intensitas cahaya akibat terjadinya lekukan pada serat optik. Adapun inovasi pada penelitian ini adalah serat optik plastik dibuat atau dibentuk menjadi beberapa lilitan (*loop*) menggunakan teknik lekukan besar (*macrobending*). Hal ini dimaksudkan bahwa rugi daya akan bertambah dengan adanya penambahan *loop* tersebut. Dengan berbagai ukuran diameter dan jumlah *loop* diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas dan resolusi dari sensor yang dibuat. Sensor berbasis serat optik plastik ini diharapkan dapat diaplikasikan untuk berbagai pengukuran baik untuk massa yang kecil maupun yang besar serta pengukuran dengan massa yang *statis* maupun yang *dinamis*. Sebagai contoh aplikasi yaitu untuk pengukuran dengan massa yang besar dan dinamis dapat

digunakan untuk pengukuran massa kendaraan yang sedang bergerak. Sensor massa berbasis serat optik plastik yang dibuat memiliki keunggulan yaitu, teknik pengukuran sederhana, fabrikasi mudah dan biaya murah.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Skema penelitian sensor serat optik plastik berbasis modulasi intensitas cahaya untuk pengukuran massa secara lengkap ditampilkan seperti pada Gambar 1(a). Pada penelitian ini menggunakan sumber cahaya LED infra merah

(IF-E91A) yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 950 nm dan fototransistor (IF-D92) sebagai detektor cahaya. Panjang sensor serat optik plastik yang digunakan adalah 1 meter dengan nilai celah numerik $NA = 0.5$. Jenis serat optik plastik yang digunakan adalah Mitsubishi Rayon SH-4001 dengan diameter lapisan jaket, selubung, dan inti masing-masing adalah 2,2 mm, 1 mm, dan 0,98 mm. Inti dan selubung dari serat optik plastik terbuat dari bahan polymethyl metacrylate (PMMA) dan *fluorinated polymer* dengan indeks bias masing-masing adalah $n_{co} = 1,492$ dan $n_{cl} = 1,402$.



Gambar. 1. Sensor berbasis modulasi intensitas sebelum terbebani, (c) Sensor setelah terbebani.

Serat optik yang digunakan sebagai sensor dibuat dalam bentuk lilitan (*loop*) yang dipasang di antara dua buah plat dan di topang oleh empat buah pegas yang ditampilkan seperti pada Gambar 1(b) dan 1(c). Pada kedua ujung serat optik dipasang LED sebagai sumber cahaya dan fototransistor sebagai detektor cahaya. Pengukuran daya keluaran pada sensor dilakukan pada setiap perubahan massa 100 gram mulai dari 0 sampai dengan 4000 gram yang ditempatkan di atas plat yang di topang oleh pegas. Proses pengambilan data dilakukan secara berulang untuk setiap jumlah loop mulai

dari 1 loop, 2 loop, 3 loop, dan 4 loop dengan perubahan massa yang sama.

Kondisi sensor dalam keadaan tidak terbebani dan terbebani ditampilkan seperti pada Gambar 1(b) dan 1(c). Jika massa diletakkan di atas plat penahan, maka massa akan menekan sensor serat optik plastik ke bawah sehingga lekukan pada loop semakin bertambah besar. Pertambahan lekukan pada serat optik mengakibatkan rugi daya semakin meningkat dan sebaliknya tegangan keluaran pada alat ukur semakin kecil. Pengukuran tegangan keluaran pada sensor juga dilakukan dengan variasi ukuran diameter loop dan variasi konstanta pegas yang dipasang pada

sensor. Hal ini dilakukan untuk menentukan nilai range, sensitivitas dan resolusi yang terbaik dari alat ukur massa tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian sensor serat optik untuk pengukuran massa menunjukkan bahwa perubahan massa terukur sebanding dengan perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan. Data hasil pengukuran tegangan keluaran pada sensor massa berbasis serat optik plastik untuk jumlah loop yang bervariasi dan diameter loop yang tetap yaitu 6 cm, seperti ditampilkan pada Gambar 2. Pengukuran tegangan keluaran dilakukan pada setiap perubahan massa 100 gram mulai dari 0 sampai dengan 4000 gram untuk diameter loop yang tetap. Hasil pengukuran yang diperoleh nampak bahwa perubahan tegangan keluaran sebanding dengan perubahan massa. Semakin besar massa yang terukur, maka semakin besar pula rugi daya pada serat optik plastik dan semakin kecil tegangan keluarannya.

Selanjutnya pengukuran dilakukan untuk variasi diameter loop dengan jumlah loop yang sama. Pengukuran tegangan keluaran dilakukan untuk setiap perubahan massa yang sama. Hasil pengukuran daya keluaran pada sensor terhadap perubahan massa dengan variasi diameter loop ditampilkan seperti pada Gambar 3. Dari grafik data hasil pengukuran diperoleh bahwa semakin kecil diameter loop pada sensor massa, maka sensitivitas semakin tinggi dan resolusi semakin kecil.

Penelitian dilanjutkan dengan variasi beberapa jenis pegas dengan elastisitas yang berbeda. Hasil yang diperoleh bahwa jika menggunakan pegas yang berbeda, maka perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan juga berbeda. Grafik hasil pengukuran daya keluaran terhadap perubahan massa pada setiap jenis pegas yang berbeda ditampilkan seperti pada Gambar 4. Dalam penelitian ini digunakan tiga jenis pegas

yang berbeda dengan konstanta pegas masing-masing adalah 1000 N/m, 500 N/m dan 11 N/m. Pegas dengan elastisitas tinggi cenderung memiliki tingkat respon yang lebih baik dan cocok untuk pengukuran dengan massa yang kecil. Sedangkan pegas dengan elastisitas yang rendah dan memiliki respon yang kurang baik dapat digunakan untuk pengukuran massa yang besar.

Dari data hasil pengukuran dilakukan pengolahan data untuk menentukan range tegangan keluaran, sensitivitas dan resolusi sensor. Sensitivitas dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut.

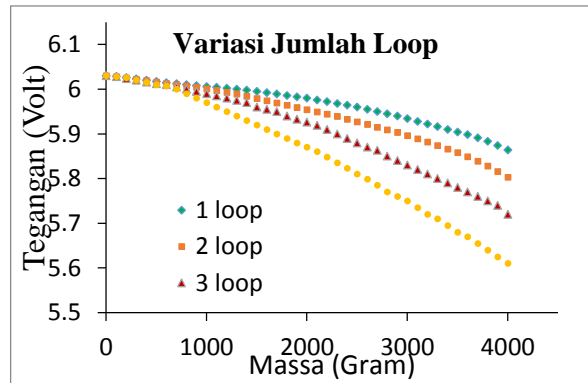
$$S = \frac{V_{\text{Max}} - V_{\text{Min}}}{M_{\text{Max}} - M_{\text{Min}}} \quad (1)$$

dimana V_{Max} adalah tegangan maksimum yang terukur, V_{Min} adalah tegangan minimum, M_{max} adalah massa maksimum dan M_{Min} adalah massa minimum.

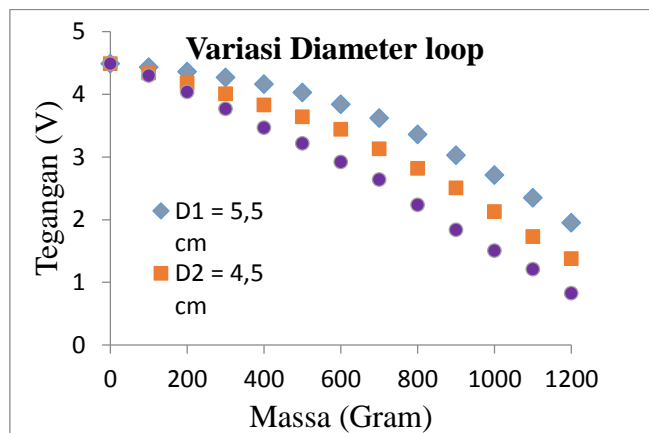
Resolusi sensor massa berbasis serat optik plastik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2 berikut ini.

$$R = \frac{N}{S} \quad (2)$$

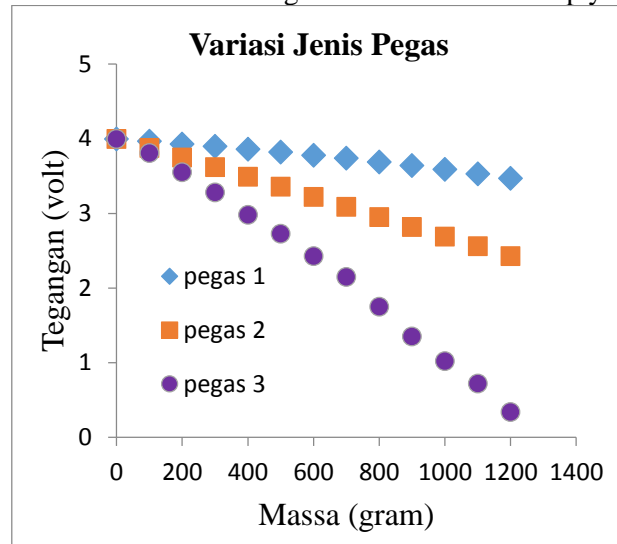
dimana N adalah skala terkecil yang dapat di ukur oleh voltmeter yaitu 0,01 volt dan S adalah sensitivitas sensor. Dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) di atas, maka hasil perhitungan dapat di lihat seperti pada Tabel 1.



Gambar 2. Grafik hasil pengukuran sensor massa dengan variasi jumlah loop dengan diameter loop 6 cm



Gambar 3. Hasil pengukuran sensor massa dengan variasi diameter loop yang berbeda.



Gambar 4. Grafik hasil pengukuran sensor massa dengan jenis pegas yang berbeda.

Tabel 1. Karakteristik Sensor Massa dengan Variasi Jumlah Loop

Jumlah Loop	Range (Volt)	Sensitivitas (mV/Gram)	Resolusi (Gram)
1	0,166	0,042	240,964
2	0,277	0,057	176,210
3	0,31	0,077	129,032
4	0,42	0,105	95,238

Tabel 1. Menunjukkan bahwa hasil perhitungan range, sensitivitas dan resolusi sensor dengan variasi jumlah loop. Dapat dilihat bahwa range, sensitivitas dan resolusi sensor semakin baik dengan peningkatan jumlah loop.

Data karakteristik hasil pengukuran sensor massa dengan variasi diameter loop dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Sensor Massa dengan Variasi Diameter Loop

Diameter (cm)	Range (Volt)	Sensitivitas (mV/Gram)	Resolusi (Gram)
5,5	2,54	2,116	4,724
4,5	3,11	2,592	3,858
4	3,66	3,050	3,278

Pada Tabel 2. Menunjukkan bahwa diameter loop mempengaruhi karakteristik sensor. Semakin kecil diameter loop sensor, maka semakin tinggi range dan sensitivitas sensor serta resolusi semakin kecil.

Hasil pengukuran karakteristik sensor dengan variasi konstanta pegas ditampilkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Sensor Massa dengan Variasi Konstanta Pegas

Tetapan Pegas (N/m)	Range (Volt)	Sensitivitas (Volt/Gram)	Resolusi (Gram)
1000	0,53	0,441	22,641
500	1,57	1,308	7,643
11	3,66	3,050	3,278

Hasil pengukuran pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perubahan konstanta pegas mempengaruhi range, sensitivitas dan resolusi sensor. Semakin kecil konstanta pegas yang digunakan, maka semakin tinggi range tegangan keluaran dan sensitivitas sensor, serta semakin kecil resolusinya.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sensor yang dibuat bekerja

dengan baik. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Batenko dkk. yang menyatakan bahwa tegangan keluaran menurun seiring dengan meningkatnya massa yang diberikan pada sensor [11].

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan sensor yang baik dapat dilakukan dengan peningkatan range daya keluaran dan sensitivitas sensor serta memperkecil resolusi sensor. Hal ini dapat dilakukan dengan memperbanyak jumlah loop sensor, memperkecil diameter loop sensor dan memperkecil konstanta pegas yang digunakan sebagai penopang. Penggunaan sensor massa dapat diaplikasikan untuk berbagai tingkat pengukuran massa yang berbeda tergantung pada elastisitas pegas yang digunakan. Besar kecilnya massa yang akan diukur sangat bergantung kepada kesesuaian konstanta pegas yang digunakan.

REFERENSI

- [1] Arifin, A., Hatta, A. M., Muntini, M. S., dan Rubiyanto, A. 2014, Bent of Plastic Optical Fiber with Structural Imperfection for Displacement Sensor, *Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)*, NISCAIR Publication, Vol. 52, no 8, pp. 520-524.
- [2] Remouche, M., Georges, F., dan Meyrueis, P. 2012, Flexible Optical Waveguide Bent Loss Attenuation Effects Analysis and Modeling Application to an Intrinsic Optical Fiber Temperature Sensor, *Optics and Photonics Journal (OPJ)*, vol. 2, pp. 1-7.
- [3] Kuang, J. H., Chen, P. C., dan Chen, Y. C. 2010, Plastic Optical Fiber Displacement Sensor Based on Dual Cycling Bending, *Sensors 2010*, vol. 10.
- [4] Mejia-Aranda, A. R., Basurto-Pensado, M. A., Antunez-Ceron, E. E., Castro-Gómez, L. L., Urquiza-Beltran, G., Rodriguez, J. A., García, J. C., Sánchez-Mondragón, J. J., Ruiz-Pérez, V. I. 2013, Fiber Optic Pressure Sensor of 0-0.36 psi by Multimode Interference, *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 11, pp. 695-701.
- [5] En, D., Zhou, C., dan Shi, X. 2013, Research of Optic-Fiber Pressure Sensor Based On MOEMS, *International Journal of Digital Content Technology and its Applications (JDCTA)*, vol. 7, no. 7, pp. 627-634.

- [6] Tosi, D., Olivero, M., Vallan, A. and Perrone, G. 2010, Weigh In Motion Through Fibre Bragg Grating Optical Sensor, *Electronic Letters*, 19th August 2010, vol. 46, no. 17, pp.
- [7] Uva, G., Porcoa, F., Fiore, A., Porco, G. 2014, Structural Monitoring Using Fiber Optic Sensor Of a Pre-Stressed Concret Viaduct during Construction Phases, Elsevier Publication, vol. 2, pp. 27–37.
- [8] Ishizuka, S., Itoh, N. dan Minemoto, H. 1997, Optical Fiber Current sensor using Garnet Crystal for Power Distribution Fields, *Optical Review*, vol. 4, no. 1A, pp. 45-49.
- [9] Malla, R. B., Sen, A., dan Garrick, N. W. 2008, A Special Fiber Optic Sensor for Measuring Wheel Loads of Vehicles on Highways, *Sensors 2008*, vol. 8, pp. 2551-2568.
- [10] Červeňová, J., Iglarčík, M. 2013, Weight Measurements Using Microbending Optical Fibre Sensor and OTDR, *Measurement 2013, Proceedings of the 9th International Conference*, Smolenice, Slovakia, pp. 243-246.
- [11] Batenko, A., Grakovski, A., Kabashkin, I., Petersons, E. Dan Sikerzhicki, Y. 2011, Problems of fibre Optic Sensor Application in Weight-In-Motion (WIM) Systems”, *Proceedings of the 11th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication (Relstat'11)*, vol. 1019, pp. 311-316.

Sensor Glukosa Berbasis Modulasi Intensitas Menggunakan Serat Optik Polimer

Rosdia dan Arifin*

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*Email : arifinpide@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sensor glukosa menggunakan modulasi intensitas pada serat optik polimer. Sensor dibuat dengan dua model yaitu sensor serat optik dengan selubung (*cladding*) dan tanpa selubung. Panjang sensor serat optik polimer bervariasi yaitu 2 cm, 3 cm dan 4 cm yang terletak pada bagian tengah serat optik polimer. Pada kedua ujung sensor dipasang LED sebagai sumber cahaya dan fotodetektor yang disambungkan dengan penguat selisih (*diferensial*). Cahaya merambat ke dalam sensor serat optik polimer akan dipengaruhi oleh glukosa yang berada di sekitar sensor yang dapat mempengaruhi tegangan keluaran sensor. Pengukuran tegangan keluaran dari sensor dilakukan dengan variasi konsentrasi glukosa pada larutan aquades. Dari hasil penelitian yang diperoleh bahwa semakin tinggi kadar glukosa pada larutan aquades, maka semakin rendah tegangan keluaran sensor. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa range tegangan keluaran, sensitivitas dan resolusi sensor sangat dipengaruhi oleh panjang sensor. Semakin pendek sensor serat optik polimer, maka semakin besar range dan sensitivitasnya, serta resolusinya semakin kecil.

Kata Kunci: Sensor glukosa, modulasi intensitas dan serat optik polimer

I. PENDAHULUAN

Teknologi piranti elektronika kini semakin maju seiring dengan berkembangnya sistem informasi dan komunikasi. Hal ini membawa ke era penggunaan teknologi sensor sebagai alat deteksi. Teknologi sensor saat ini telah banyak dikembangkan di berbagai bidang keperluan, seperti sensor cahaya, suara, gaya, kecepatan, percepatan, suhu, pH, oksigen, dan sensor gas [1].

Salah satu media penginderaan sensor yang saat ini diminati adalah serat optik polimer. Beberapa contoh sensor berbasis serat optik polimer (plastik) yang telah dikembangkan adalah sensor polarimetrik berbasis serat optik merupakan sensor untuk pengukuran polarisasi cahaya, sensor giroskop berbasis serat optik yaitu sensor untuk mendeteksi suatu gerakan atau posisi berdasar kesetimbangan gravitasi, sensor biokimia berbasis serat optik adalah sensor untuk mendeteksi reaksi biologis dan reaksi kimia [2].

Sensor berbasis serat optik polimer telah banyak dikembangkan di berbagai bidang. Sensor biomedik menggunakan sensor serat optik adalah salah satu sensor yang dibuat untuk memantau tanda-tanda vital pasien seperti aktivitas respirasi jantung, tekanan darah dan gerakan fisik tubuh [3]. Selain itu pengembangan sensor pernapasan telah dirancang dengan berbasis serat optik dengan

metode selubung (*cladding*) terkelupas untuk aplikasi di bidang medis [4], juga sensor pH menggunakan serat optik dengan selubung (*cladding*) silika Sol-Gel [5].

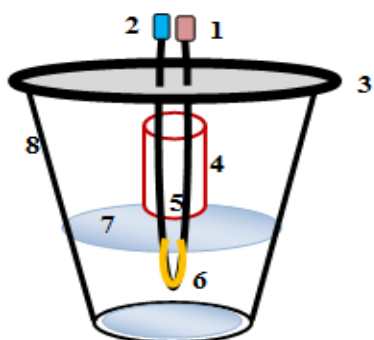
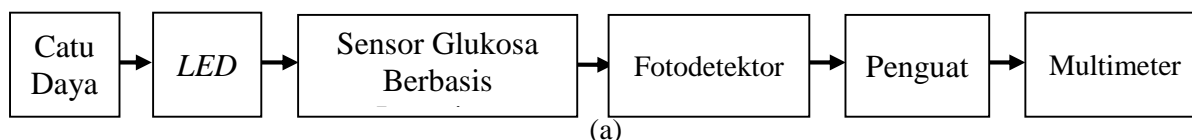
Sejauh ini, telah dikembangkan beberapa macam sensor berbasis serat optik polimer dalam mendeteksi kadar glukosa yang ada dalam tubuh. Sebagai sensor, serat optik polimer memiliki beberapa kelebihan, yaitu relatif murah, mudah dimodifikasi tahan terhadap interferensi medan listrik maupun magnet, dan memiliki konsumsi daya yang rendah [6]. Dalam penggunaan serat optik polimer sebagai sensor glukosa, beberapa modifikasi sensor telah dibuat di antaranya deteksi kadar glukosa dalam air destilasi dengan metode pergeseran menggunakan serat *coupler* [7] dan sensor serat optik dari bahan polimer untuk pengukuran *refractive index* larutan gula [8]. Dari berbagai pengembangan serat optik polimer sebagai sensor glukosa tersebut dengan metode pengukuran yang berbeda, memiliki proses pengukuran yang lebih rumit dan proses fabrikasi yang sulit. Selanjutnya pada penelitian ini parameter sensitivitas dilihat dari panjang sensor yang digunakan baik dengan selubung dan tanpa selubung serta variasi konsentrasi larutan. Keunggulan sensor glukosa ini diharapkan dapat mengukur glukosa yang lebih akurat dengan sistem pengukuran yang sederhana, fabrikasi mudah dan biaya murah dan

dapat dihubungkan dengan perangkat sistem pengukuran yang lain.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Serat optik polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat moda-jamak indeks tangga (*multi-mode step index fiber*) jenis Mitsubishi Rayon SH-4001 yang terbuat dari bahan *polymethyl metacrylate* (PMMA) dengan

diameter lapisan jaket, selubung, dan inti masing-masing adalah 2,2 mm, 1 mm, dan 0,98 mm. Serat optik polimer dengan indeks bias inti dan selubung masing-masing adalah $n_{\text{inti}} = 1,492$ dan $n_{\text{selubung}} = 1,402$ dengan nilai celah numerik $NA = 0,5$. Sumber cahaya LED jenis IF-E91A dengan panjang gelombang maksimum 950 nm, dan fotodetektor menggunakan fototransistor jenis IF-D92.



1. LED sebagai sumber cahaya.
2. Fototransistor sebagai detektor cahaya.
3. Plat sebagai tempat sensor serat optik.
4. Penahan serat optik.
5. Serat optik polimer.
6. Sensor serat optik dengan intan selubung atau tanpa selubung.
7. Larutan glukosa dalam aquades.
8. Wadah atau tempat larutan.

(b)

Gambar 1. Sensor glukosa berbasis serat optik polimer

(a) Blok diagram sensor glukosa, (b) Pemasangan sensor pada larutan glukosa.

Objek yang diukur adalah larutan dengan konsentrasi glukosa dalam aquades yang bervariasi yaitu setiap perubahan 5% mulai dari 0% sampai dengan 50%. Larutan glukosa dengan volume yang sama untuk setiap konsentrasi dimasukkan dalam wadah atau tempat larutan. Sensor serat optik polimer yang digunakan dicelupkan ke dalam larutan glukosa tersebut dengan ukuran panjang sensor yang bervariasi yaitu 2 cm, 3 cm dan 4 cm dengan jaket serat optik polimer terkupas. Hal ini dilakukan untuk menentukan seberapa panjang sensor yang optimal untuk digunakan sebagai sensor glukosa.

Pembuatan sensor glukosa menggunakan serat optik polimer dibuat dua jenis yaitu sensor yang terdiri dari inti dengan selubung dan sensor dengan inti tanpa selubung. Untuk sensor serat optik polimer tanpa selubung dibuat dengan mengupas bagian selubungnya dengan cara menggosok dengan larutan aseton sepanjang sensor tersebut sesuai dengan ukuran sensor yang digunakan.

Prinsip dasar sensor berbasis modulasi intensitas adalah dengan memanfaatkan perubahan intensitas cahaya oleh akibat perubahan rugi-rugi daya pada serat optik polimer. Cahaya dari LED merambat ke dalam sensor serat optik polimer yang dipengaruhi oleh konsentrasi glukosa yang berada di sekitar sensor. Hal ini menimbulkan rugi-rugi daya pada serat optik yang dapat mempengaruhi tegangan keluaran sensor. Pengukuran tegangan keluaran dari sensor glukosa dilakukan setiap perubahan konsentrasi glukosa pada larutan aquades.

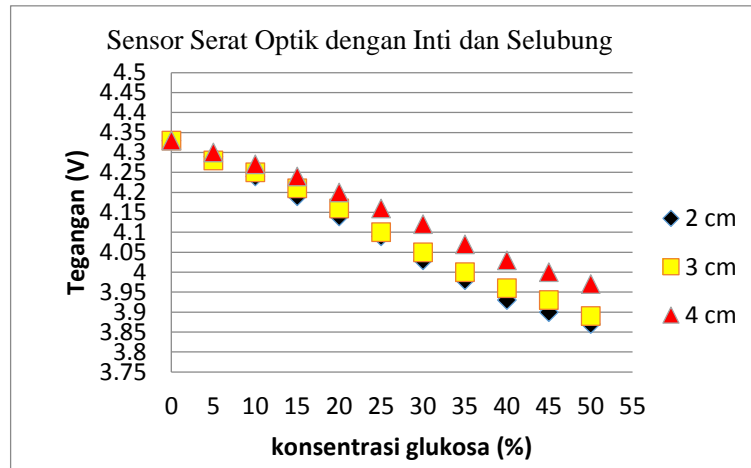
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian secara eksperimental dilakukan untuk menganalisa pengaruh konsentrasi glukosa terhadap tegangan keluaran sensor berbasis serat optik polimer. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi glukosa terhadap perubahan tegangan keluaran sensor berbasis serat optik polimer yang telah dibuat. Penelitian akan difokuskan pada peningkatan sensitivitas dan resolusi sensor. Ada dua macam konfigurasi sensor yang digunakan untuk

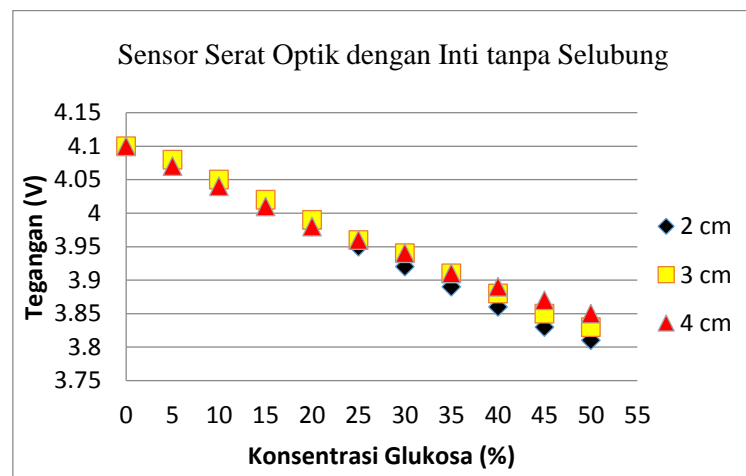
mengukur larutan glukosa, yaitu sensor serat optik dengan menggunakan selubung dan tanpa selubung dengan variasi panjang sensor 2 cm, 3 cm dan 4 cm.

Pengukuran tegangan keluaran dilakukan pada setiap perubahan konsentrasi glukosa dengan

jenis dan panjang sensor yang berbeda. Hasil pengukuran tegangan keluaran sensor glukosa berbasis serat optik polimer ditampilkan seperti pada Gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2. Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap konsentrasi glukosa (a) Sensor serat optik dengan inti dan selubung, dan (b) Sensor serat optik dengan inti tanpa selubung.

Dari hasil pengukuran tegangan keluaran sensor glukosa berbasis serat optik polimer menggunakan dua jenis sensor yaitu dengan selubung dan tanpa selubung dengan variasi panjang sensor. Dari data tersebut di atas dapat dihitung nilai range tegangan keluaran, sensitivitas dan resolusinya. Untuk menghitung nilai range tegangan keluaran, dapat digunakan persamaan:

$$\Delta = V_{max} - V_{min} \quad (1)$$

dengan V_{max} sebagai tegangan keluaran maksimum dan V_{min} sebagai tegangan keluaran minimum.

Sensitivitas sensor glukosa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$S = \frac{V_{max} - V_{min}}{K_{max} - K_{min}} \quad (2)$$

dengan K_{max} sebagai konsentrasi larutan glukosa maksimum dan K_{min} sebagai konsentrasi larutan glukosa minimum.

Kemudian untuk menghitung nilai resolusi sensor yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$R = \frac{N}{S} \quad (3)$$

dimana N adalah skala terkecil dari multimeter yaitu 0,01 Volt dan S adalah sensitivitas, sehingga nilai resolusi dapat dihitung berdasarkan data dari persamaan sebelumnya.

Data dari hasil pengukuran di atas dapat dianalisis dengan menggunakan rumus dari persamaan (1), (2) dan (3). Hasil perhitungan yang diperoleh adalah karakteristik sensor glukosa berbasis serat optik polimer berupa range daya keluaran, sensitivitas dan resolusi sensor, seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik sensor glukosa berbasis serat optik polimer

Perlakuan Sensor	Panjang Sensor (cm)	Range Tegangan Keluaran (Volt)	Sensitivitas (Volt/%)	Resolusi (%)
Dengan Selubung	2	0,46	0,0092	1,087
	3	0,44	0,0088	1,136
	4	0,36	0,0072	1,389
Tanpa Selubung	2	0,29	0,0058	1,724
	3	0,27	0,0054	1,852
	4	0,25	0,0050	2,000

Hasil analisa data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai range tegangan keluaran dan sensitivitas sensor glukosa semakin kecil seiring dengan bertambahnya panjang sensor serat optik polimer yang digunakan. Nilai range tegangan keluaran dan sensitivitas terbaik yang diperoleh dari sensor serat optik polimer menggunakan inti dan selubung adalah 0,46 Volt dan 0,0092 Volt/%. Sedangkan nilai range tegangan keluaran dan sensitivitas terbaik dari sensor serat optik polimer menggunakan inti tanpa selubung adalah 0,29 Volt dan 0,0058 Volt/%. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa resolusi sensor semakin kecil jika sensor yang digunakan semakin pendek. Resolusi sensor terbaik diperoleh pada panjang sensor 2 cm dengan sensor serat optik polimer menggunakan inti dan selubung yaitu 1,087%. Sedangkan resolusi

sensor serat optik polimer menggunakan inti tanpa selubung adalah 1,724%. Rugi daya pada sensor yang tidak menggunakan selubung lebih besar dibandingkan dengan rugi daya pada sensor yang menggunakan selubung. Begitupula dengan pengaruh panjang sensor yang digunakan akan mempengaruhi rugi daya pada sensor. Semakin panjang sensor yang digunakan, maka rugi daya semakin besar.

Hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Imam Khambali (2014) yang meneliti tentang rancang bangun sensor serat optik polimer untuk mendeteksi konsentrasi ion Ca^{2+} dalam air [9]. Begitupula dengan penelitian yang dilakukan oleh Mardian Peslinof (2013) tentang analisis pengaruh pembengkokan pada alat ukur tingkat

kekeruhan air menggunakan sistem sensor serat optik [10]. Kedua hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa kenaikan konsentrasi larutan berbanding terbalik dengan penurunan tegangan keluaran sensor.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya pengaruh konsentrasi glukosa terhadap perubahan tegangan keluaran pada sensor berbasis serat optik polimer. Semakin tinggi konsentrasi glukosa pada larutan aquades, maka menyebabkan tingginya rugi daya pada serat optik polimer dan mengakibatkan tegangan keluaran semakin kecil. Sensor glukosa dengan menggunakan selubung memiliki tingkat sensitivitas dan range yang lebih tinggi serta resolusi yang lebih kecil dibandingkan dengan sensor yang tidak memiliki selubung. Begitupula dengan sensor dengan ukuran panjang yang lebih kecil memiliki sensitivitas dan range yang lebih baik. Dari hasil penelitian ini diperoleh dapat disimpulkan bahwa sensor glukosa yang lebih peka terhadap konsentrasi glukosa adalah sensor dengan panjang 2 cm dengan menggunakan selubung.

REFERENSI

- [1] Setiawan, I. 2009. *Sensor dan Transduser*, Diktat Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- [2] Yin, S., Ruffin, P. B., Francis, T. S. Y. 2008. *Serat Optic Sensors*, Second Edition. Taylor & Francis. United States Amerika.
- [3] Zyczkowski, M., Uzieblo, B., Dziuda, L. Z., Rozanowski, K. 2012. *Bio-Medical Sensing Using Serat Optic Sensors*. Acta Physica Polonica A, vol. 122, no. 4, pp. 1-3.
- [4] Suana, W., Muntini, M. S., Hatta, A. M. 2012. *Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik dengan Cladding Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis*. Jurnal Fisika dan Aplikasinya, vol.8, no. 2, pp. 1-5.
- [5] Matiin, N., Hatta, A. M., Sekartedjo. 2012. *Pengaruh Variasi Bending Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik Menggunakan Lapisan Silica Sol gel terhadap Sensitivitas*. Jurnal Teknik POMITS FTI ITS, vol. 1, no. 1, pp. 1-6.
- [6] Maddu, A. 2007. *Pengembangan Sensor Serat Optik dengan Cladding Termodifikasi Polianilin Nanostruktur untuk Mendeteksi Beberapa Uap Kimia*. Disertasi Program Studi Opto-Elektronika dan Aplikasi Laser, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [7] Nurul, A. F., Samian, Yasin, M. 2012. *Deteksi Kadar Glukosa dalam Air Destilasi Bebasis Sensor Pergeseran Menggunakan Serat Coupler*, Skripsi Fisika, FST Universitas Airlangga, Surabaya.
- [8] Sari, N. W., Marzuki, A., Yunianto, M. 2012. *Sensor Serat Optik dari Bahan Serat Optik Polimer Untuk Pengukuran Refractive Index Larutan Gula*, Indonesian Journal of Applied Physics, vol. 2, no. 1, pp. 29-37.
- [9] Khambali, I., Endarko. 2014. *Rancang Bangun Sensor Polimer Serat Optik Untuk Pendeteksi Konsentrasi Ion Ca^{2+} dalam Air*. Jurnal Materi Pembelajaran Fisika (JMPF). vol.4, no. 2, pp. 32-37.
- [10] Peslinof, M., Harmadi, Wildian. 2013. *Analisis Pengaruh Pembengkokan pada Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Sistem Sensor Serat Optik*. Jurnal Ilmu Fisika (JIF). Vol.5, no. 1, pp. 38-43.

Analisis Genangan Sungai Jeneberang

Anugrawati*, Alimuddin Hamzah dan Paharuddin

Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*Email: anugrawatih@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui genangan sungai jeneberang dengan menggunakan HEC-Georas untuk pemodelan skematika sungai dan HECRAS untuk pemodelan hidraulika. Hasil analisis menunjukkan pada periode kala ulang 2 tahun dengan debit 3475 m³/det, luas genangannya 1,227.13ha, kala ulang 5 tahun dengan debit 3875 m³/det luas genangannya 1,263.07 ha, kala ulang 10 tahun debit 4118 m³/det luas genangannya 1,285.70 ha, kala ulang 25 tahun debit 4407 m³/det luas genangannya 1,297.06 ha, kala ulang 50 tahun debit 4613 m³/det luas genangannya 1,307.21 ha, kala ulang 100 tahun debit 4812 m³/det luas genangannya 1,313.37 ha, dan pada kala ulang 200 tahun debit 5006 m³/det luas genangannya 1,322.80 ha. Wilayah yang tergenangan untuk semua debit periode kala ulang berada di Kabupaten Gowa sekitar kecamatan Bontomarannu, Pallangga, Sombaopu dan barombong untuk wilayah Kota Makassar yang tergenang di sekitar kecamatan tamalate, mamajang dan mariso terdapat juga di sebagian daerah Kabupaten Takalar.

Kata Kunci: Debit kala ulang, HECRAS, Genangan

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Genangan ialah adanya luapan-luapan pada daerah di kanan atau kiri sungai akibat alur sungai tidak memiliki kapasitas yang cukup bagi debit aliran yang lewat. Dimana luapan air tersebut terkonsentrasi pada suatu lokasi daerah yang lebih rendah (Sudjarwadi, 1987).

Permasalahan Genangan di Sungai Jeneberang sudah sejak lama. Sungai yang memiliki panjang 75 km dengan luas daerah aliran sungai 727 Km² bersumber dari Gunung Bawakaraeng pada elevasi +2.833,00 MSL. Sungai ini sering meluap pada saat musim hujan seperti yang terjadi pada bulan Desember sampai dengan Januari 1975 sehingga menyebabkan hampir 2/3 Kota Makassar tergenang. Timbulnya daerah genangan ini adalah akibat meluapnya air sungai daerah hilir jembatan Sungguminasa dan sarana drainase yang tidak memadai, ini merupakan salah satu alasan pembangunan waduk Bili-Bili yang telah beroperasi sejak tahun 1998 (Dinas PSDA, 2015).

Berkaitan dengan hal tersebut, Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan kontribusi untuk menyajikan peta informasi berupa sebaran luapan area genangan, serta luas genangan. Pemetaan dataran banjir dilakukan dengan perpaduan model hidraulik dengan SIG. Berbagai model untuk melakukan integrasi antara model simulasi dengan SIG telah banyak berkembang, salah satu model yang mengintegrasikan antara model hidraulik dengan SIG adalah Hec-GeoRAS yang ada pada *tools* ArcGIS yang dikembangkan oleh US Army.

Setelah itu untuk menganalisis profil muka air sungai menggunakan Hec RAS.

Mengingat wilayah DAS Jeneberang merupakan daerah padat penduduk maka dilakukan untuk penelitian untuk mengetahui wilayah sebaran area genangan dan luasnya akibat kenaikan debit air sungai.

Ruang Lingkup dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis genangan sungai Jeneberang kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan ditinjau dari sungai jeneberang dari bendungan bilibili menuju ke arah selatan sungai Jeneberang. Analisis ini menggunakan data debit maksimum sungai jeneberang dari tahun 1999-2004 untuk kala ulang dengan mengabaikan jembatan dan pasang surut yang diolah HEC-RAS untuk menghasilkan simulasi profil muka air dari sungai Jeneberang.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pola genangan Sungai Jeneberang, area genangan serta luas genangan menggunakan debit banjir periode kala ulang 2,5,10,20,50,100, dan 200 tahun.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penentuan Koefisien Kekasaran (*Manning*)

Pada HecRAS Nilai kekasaran (*Manning*) berhubungan dengan aliran yaitu apabila semakin banyak aliran yang masuk kedalam tanah maka semakin sedikit aliran dipermukaan. Aliran dari permukaan yang masuk kedalam tanah dinamakan infiltrasi. Infiltrasi terjadi pada lapisan tanah. Jika lapisan tanah sukar menyerap air bisa dikatakan hujan yang turun di daerah tersebut menjadi air permukaan. Sehingga infiltrasi lapisan tanah ini di

hubungkan dengan Nilai Koefisien Manning berdasarkan Penggunaan Lahan yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Koefisien kekasaran manning (Army Corps of Engineers USA, 1998)

Penggunaan lahan	Nilai manning
Bandara/Pelabuhan	0,04
Pemukiman	0,08
Pertanian	0,06
Sawah	0,05
Semak Belukar	0,045
Hutan	0,055
Tubuh air	0,035
Lahan Terbuka	0.04

Hec RAS

Hec RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS) dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satuan kerja di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). model ini merupakan model satu dimensi aliran tunak maupun tak tunak (*steady and unsteady one – dimentional flow model*). HEC-RAS yang digunakan adalah Hec RAS 4.0 (Dean, 2012). HecRAS menggunakan persamaan energi aliran pada saluran terbuka, energi spesifik dan persamaan momentum untuk pemodelan hidraulika. Diagram persamaan energi ini dapat dilihat pada (Gambar 1).

Untuk pemetaan genangan digunakan Hec-Georas yaitu sistem analisis geografis sungai yang dikembangkan menggunakan ArcGIS Desktop. Desain *geodatabase* mendukung analisis data spasial untuk pemodelan hidraulik dan pemetaan dataran banjir.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Dimana :

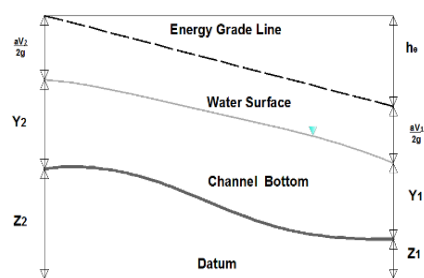
Y_1, Y_2 : Tinggi tekanan (m)

Z_1, Z_2 : Tinggi tempat (m)

$\frac{v_2^2}{2g}, \frac{v_1^2}{2g}$: tinggi kecepatan (m)

a_1, a_2 : Koefisien kecepatan

h_e : kehilangan energi

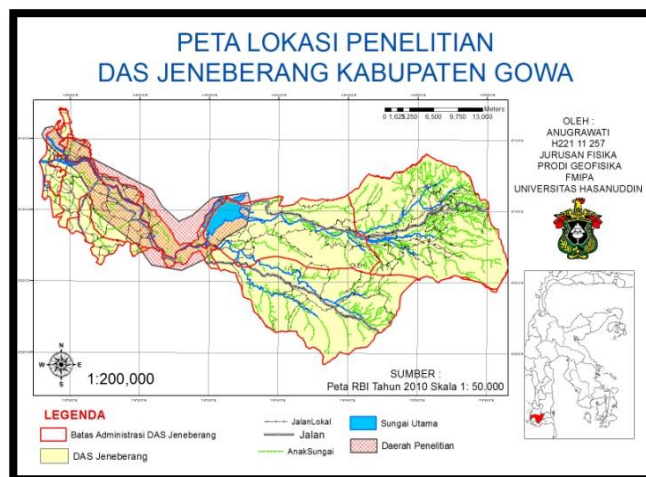


Gambar 1. Persamaan Energi Aliran permanen pada saluran terbuka (Army Corps of Engineers USA, 1998).

III. BAHAN DAN METODE

Daerah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sungai Jeneberang kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. Secara geografis sungai jeneberang terletak pada 119°23'50''–119°56'10'' BT dan 05°10'00'' – 05°26'00'' LS dengan batas daerah penelitian dari bendungan bilibili hingga delta tanjung bunga.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian (RBI, 2010).

Bahan

Kebutuhan Data

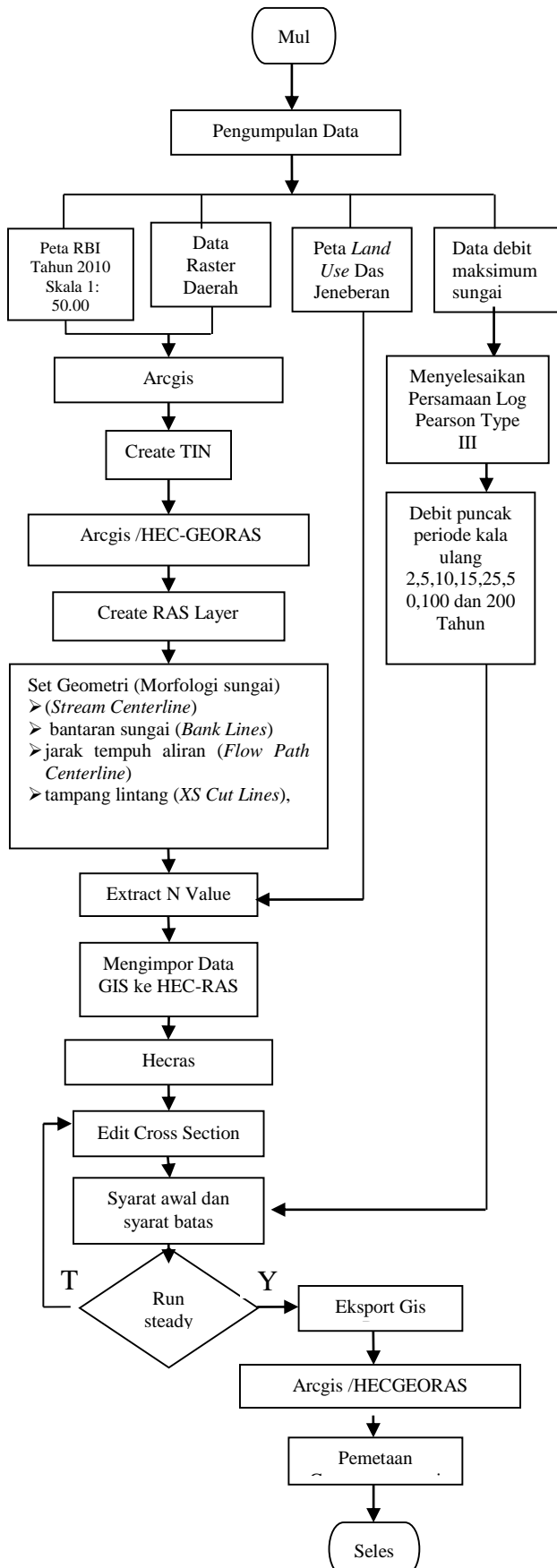
1. Data SRTM 30
2. Data debit maksimum Sungai Jeneberang (1999-2004)
3. Peta penggunaan lahan citra satelit bing maps (google earth)

Kebutuhan Peralatan

1. Seperangkat komputer dengan beberapa software yaitu, ArcGis Version 10.0, HEC-Georas, HEC-RAS.
2. Alat tulis dan alat penunjang lainnya.

Metode

Flowchart Penelitian



Menyiapkan Data

Data morfologi sungai diperoleh dari data SRTM 30 yang dikonversi dalam bentuk DEM/TIN untuk memperoleh model elevasi kemudian dibuat set geometri dengan menggunakan HEC-GeoRAS seperti *stream center line*, *banks*, *overbank*, *flowpath*, *cross section* dan *extract N Value*.

Menghitung data debit maksimum Sungai Jeneberang menggunakan Log Pearson Tipe III untuk memperoleh data debit Sungai Jeneberang periode kala ulang.

Pemilihan Skenario Aliran

Terdapat 2 skenario aliran yang digunakan pada Software HECRAS yaitu Aliran Steady dan aliran Unsteady. Aliran Steady ialah suatu aliran fluida yang tidak memiliki perubahan kecepatan terhadap semua titik dalam aliran tersebut dan Aliran Unsteady ialah ketika dalam aliran tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu. Untuk kasus analisis genangan Sungai Jeneberang skenario yang digunakan ialah Aliran Steady.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Debit aliran sungai adalah jumlah air yang mengalir pada suatu titik atau tempat persatuan waktu. Debit aliran dibangun oleh empat komponen, yaitu limpahan langsung (*direct run-off*), aliran dalam satu aliran tertunda (*interflow/delayed run-off*), aliran bawah tanah atau aliran dasar (*ground precipitation*). Hujan yang turun pada suatu DAS terdistribusi menjadi keempat komponen tersebut sebelum menjadi aliran sungai. Aliran permukaan merupakan penyumbang terbesar terhadap peningkatan volume aliran sungai (Viessman et al.1977,dalam Restiana 2004). Nilai debit maksimum Sungai Jeneberang dapat dilihat pada tabel 2.

Dalam penentuan prediksi banjir disekitar Sungai Jeneberang digunakan dengan menyelesaikan persamaan distribusi Log Pearson Tipe III untuk mengetahui debit banjir rancangan kala ulang 2,5,10,25,50,100 dan 200 tahun yang terjadi di Sungai Jeneberang dengan langkah berikut:

1. $\log Q =$ (dimana Q ialah debit maksimum)
Dimana Q ialah debit maksimum setiap tahun lalu rata-ratakan jumlah debit maksimum dari tahun (1999-2004) seperti berikut :

$$\overline{\log Q} = \frac{\sum \log Q}{n} \quad \text{dimana } n \text{ adalah jumlah data}$$

dan masukkan nilai yang didapatkan untuk menyelesaikan persamaan selanjutnya

- $(\log Q - (\overline{\log Q}))^2$
- $(\log Q - (\overline{\log Q}))^3$

Tabel 2. Debit maksimum sungai jeneberang tahun 1999-2004

Bulan	Tahun (m/det)					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Januari	2147	2643	2160	3305	2449	1732
Februari	3754	3033	4211	3375	3104	3653
Maret	2011	1980	1958	450	328	2894
April	1740	1440	892	739	517	654
Mei	631	652	783	866	717	620
Juni	1140	1124	731	710	580	670
Juli	586	583	614	552	602	633
Agustus	555	552	545	527	469	472
September	344	343	404	510	351	258
Oktober	361	624	350	707	349	244
November	758	1202	299	142	332	295
Desember	2296	2607	1355	153	837	786
Mean	1360	1399	1192	1003	886	1076
Min	344	343	299	142	328	244
Max	3754	3033	4211	3375	3104	3653

Sumber : Proyek Wilayah Sungai Prov.Sul-Sel

- Menghitung periode ulang (*Return Period*) dengan persamaan

$$TR = \left[\frac{(n+1)}{m} \right], \text{ m ialah rangking dari debit maksimum}$$

- Menghitung selisih (*Variance*), standar deviasi dan koefisien kemiringan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\circ \text{ Variance} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } Q - \overline{\text{Log } Q})^2}{n-1}$$

$$\circ \text{ Standar deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } Q - \overline{\text{Log } Q})^2}{n-1}}$$

$$\circ \text{ Skew coefficient (Sc)} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (\text{Log } Q - \overline{\text{Log } Q})^3}{(n-1)(n-2) \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } Q - \overline{\text{Log } Q})^2}{n-1}} \right)^3}$$

- Menghitung debit puncak periode kala ulang 2,5,10,25,50,100,200 dengan persamaan :

$$Q_{Tr} = 10^{(\text{Log } \bar{Q} + (K_{Tr}(Sc))(Sd))}$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan periode kala ulang menggunakan distribusi Log pearson tipe III.

Flood Frequency Calculations using log-Pearson Analysis III (period of record WY 1999-2004)		
Return Period (years)	Skew Coefficient $K(-1.3874)$	Discharge $Q \text{ (cms)}$
2	-0.055	3475
5	0.822	3875
10	1.311	4118
25	1.858	4407
50	2.225	4613
100	2.565	4812
200	2.883	5006

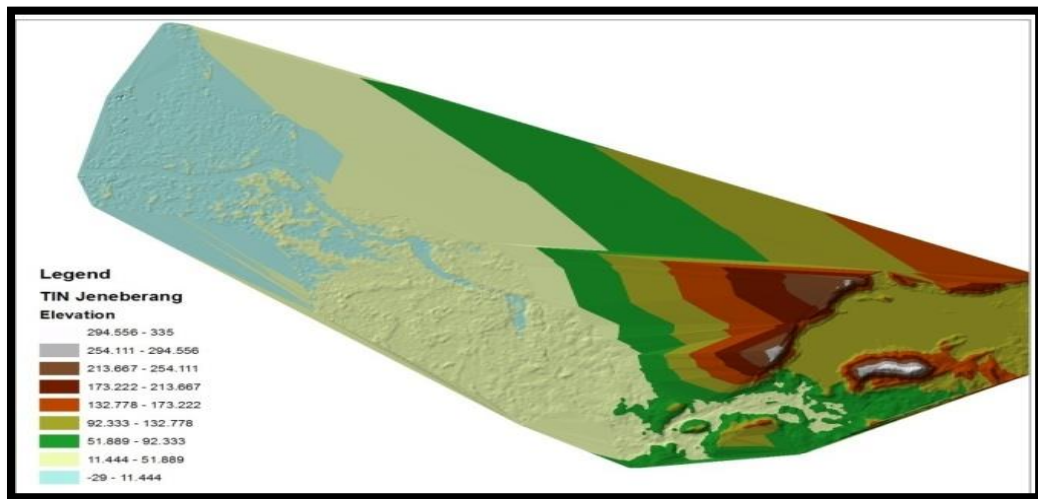
1. Data morfologi sungai

Data geometri sungai ialah skematisasi model shortcut Sungai Jeneberang dibuat dalam geometric data window. Input data yang diperlukan meliputi panjang jangkauan sungai, titik *bank* kemudian dilanjutkan dengan *cross section* dan *Extract* nilai *manning* dengan menggunakan data TIN dan hasilnya ialah data morfologi sungai seperti terlihat pada gambar (Gambar 4). Morfologi sungai yang dihasilkan memiliki panjang 31,50 km dengan jumlah *cross section* sebanyak 64 segment dengan panjang *cross section*nya 299 m-1357 m dan masing-masing intervalnya berkisar antara 500 m sampai 1 km.

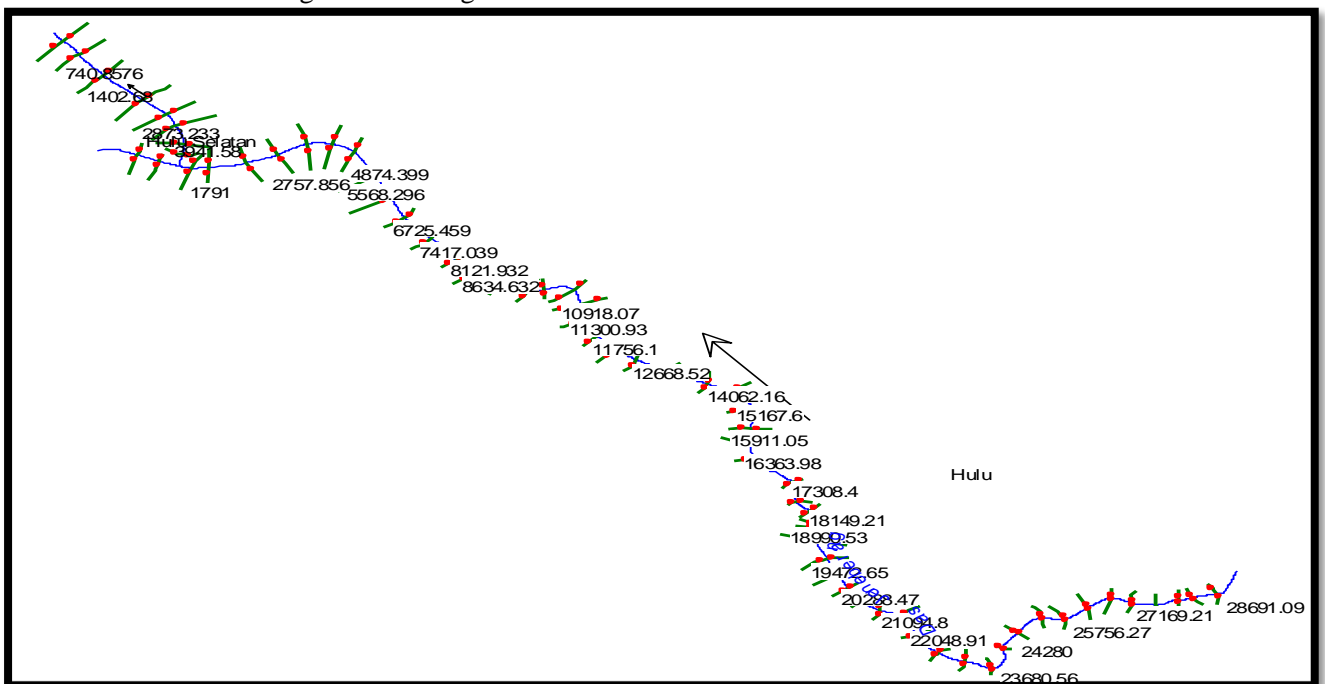
2. Hasil Running Hec RAS

Setelah dilakukan pemodelan geometri dan pemodelan hidraulika maka didapatkan analisis kapasitas penampang Sungai Jeneberang pada debit banjir rencana 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 200 tahun. Profil muka airnya dapat dilihat pada (Gambar 5 dan Gambar 6). Hasil dari pengolahan HECRAS ini memperlihatkan kapasitas angkut penampang Sungai Jeneberang. Pada Gambar 5 dan Gambar 6 Dari hasil *running* Sungai Jeneberang tidak dapat lagi menampung air akibat tingginya debit aliran sungai sehingga menimbulkan genangan di sekitarnya. Serta dilihat dari elevasi muka air beberapa stasioning mengalami genangan.

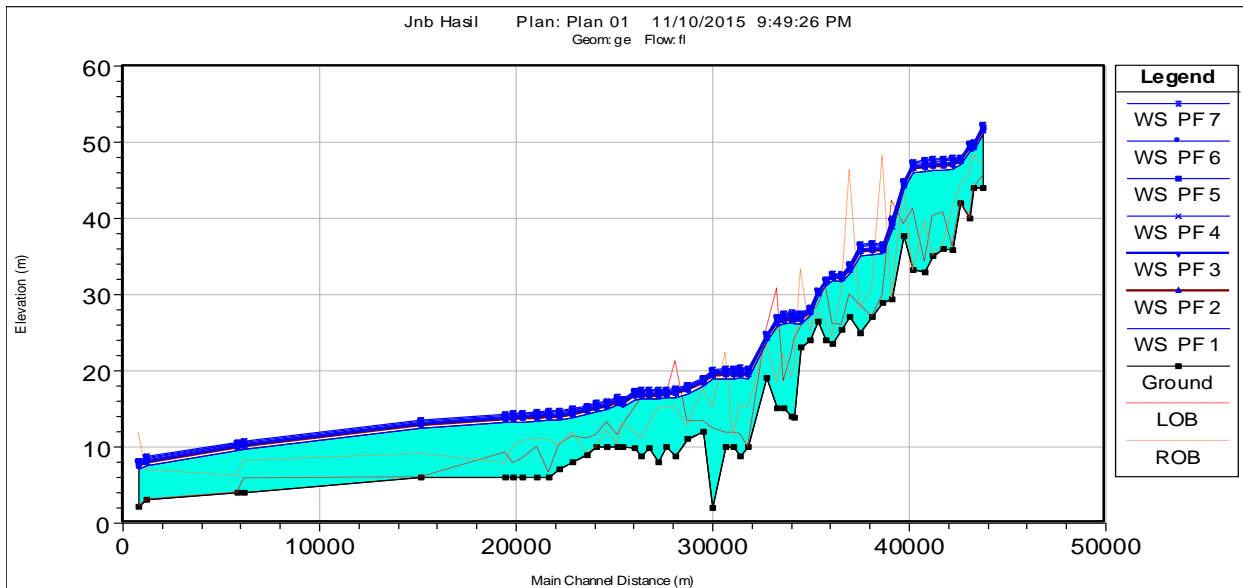
Pemetaan genangannya di tunjukkan pada Gambar 7 yang merupakan hasil analisa dari integrasi antara Hec-GeoRAS dengan ArcGis. Dimana pada gambar tersebut dapat dilihat area yang tergenang dan luasannya dengan overlay batas administrasi Kota Makassar, Kabupaten Gowa dan Pulau Sulawesi. Untuk memperlebar luas genangan akibat debit rencana kala ulang dibuat poligon di sepanjang bantaran kanan dan kiri Sungai Jeneberang yang tergenang. Hasil Luas area genangan pada beberapa daerah di sajikan dalam tabel 4.



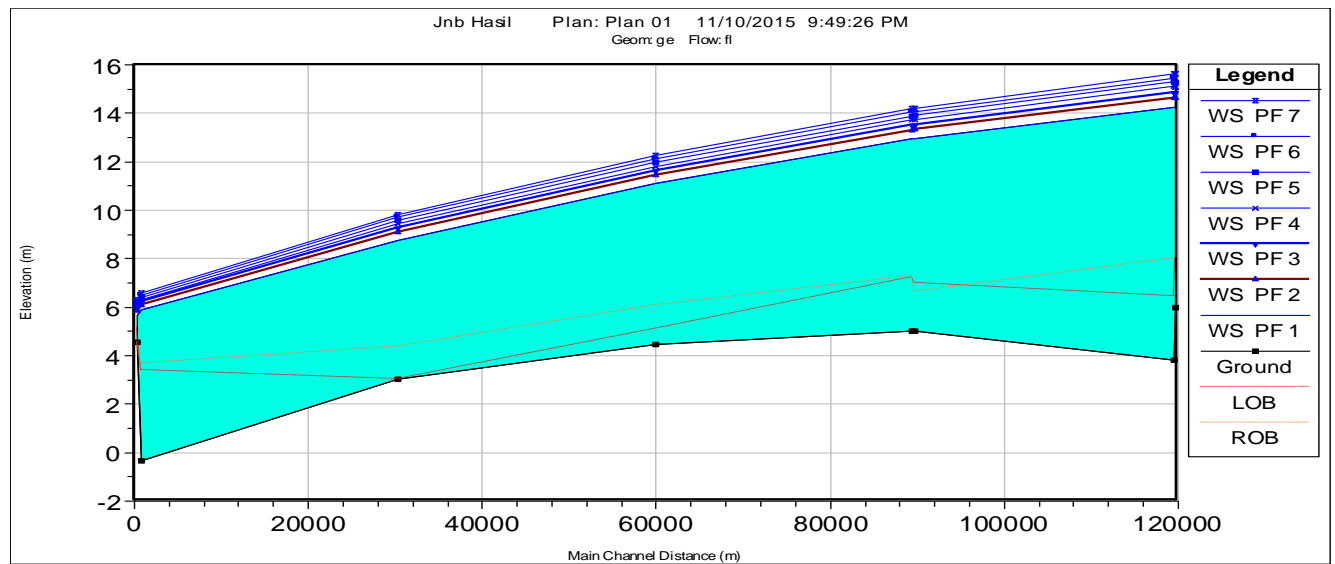
Gambar 3. Data TIN Sungai Jeneberang



Gambar 4. Data morfologi sungai



Gambar 5. Profil Muka air sepanjang Kabupaten Gowa



Gambar 6. Profil Muka air sepanjang Kota Makassar



Gambar 7. Peta genangan debit maksimum kala ulang 200 Tahun Sungai Jenebrang.

Tabel 4. Luas Area Genangan di Bantaran Sungai jeneberang

DaerahTergenang		Luas Genangan(Ha)						
Kabupaten/Kota	kecamatan	Q 2Tahun	Q 5Tahun	Q 10Tahun	Q 25 Tahun	Q 50Tahun	Q 100Tahun	Q 200Tahun
Gowa	Bajeng	12.07	12.64	13.07	13.16	13.16	13.25	13.31
Gowa	Barombong	143.10	143.30	144.10	144.50	145.90	146.20	147.20
Gowa	Bontomarannu	155.10	159.10	160.10	164.00	166.10	167.00	169.50
Takalar	Sebagian	82.50	82.55	82.85	83.52	84.67	85.24	85.71
Makassar	Mamajang	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11
Makassar	Mariso	1.45	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
Gowa	Pallangga	346.90	347.50	360.50	364.40	367.60	370.20	374.20
Gowa	Somba Opu	123.71	146.10	150.90	151.10	152.40	152.40	153.50
Makassar	Tamalate	356.20	364.20	366.50	368.70	369.70	371.40	371.70
Jumlah		1,227.13	1,263.07	1,285.70	1,297.06	1,307.21	1,313.37	1,322.80

Pada tabel daerah yang genangannya paling besar berada di daerah Kecamatan Tamalate Kota Makassar dimana daerah tersebut area padat pemukiman seperti yang diketahui perubahan tata guna lahan mempengaruhi terjadinya genangan pada suatu daerah. Penggunaan lahan akan berperan pada besarnya air limpasan hasil dari hujan yang telah melebihi laju infiltrasi. Daerah yang banyak ditumbuhi oleh pepohonan akan sulit mengalirkan air limpasan. Hal ini disebabkan besarnya kapasitas serapan air oleh pepohonan dan lambatnya air limpasan mengalir disebabkan tertahan oleh akar dan batang pohon, sehingga kemungkinan adanya genangan lebih kecil daripada daerah yang tidak ditanami oleh vegetasi seperti yang terdapat sama halnya di Kabupaten Gowa Kecamatan Pallangga, Somba Opu juga dipengaruhi oleh tata guna lahan dimana wilayah-wilayah tersebut sebagai pusat perekonomian Kabupaten Gowa seperti Barombong sebagai penghasil tangkapan laut.

Disamping itu kemiringan lereng juga dianggap penyebab genangan. Semakin tinggi kemiringan maka air yang diteruskan semakin tinggi. Air yang berada pada lahan tersebut akan diteruskan ke tempat yang lebih rendah semakin cepat, dibandingkan lahan yang kemiringannya rendah (landai) kemungkinan terjadi genangan. Seperti di Bontomarannu, Bajeng Kabupaten Gowa dan sebagian Kabupaten Takalar daerah ini memiliki vegetasi yang rapat tetapi memiliki kemiringan yang landai.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *output* dari HECRAS dan HEC-GeoRAS daerah genangan untuk semua debit periode kala ulang berada di Kabupaten Gowa tepatnya di wilayah sekitar kecamatan Bontomarannu sekitar 155.10 -169.50 Ha, Pallangga luasnya 346.90-374.20 Ha, Sombaopu 123.71-153.50Ha dan Barombong 143.10-147.20Ha sedangkan untuk Kota Makassar yang tergenang di sekitar kecamatan Tamalate dengan luas 356.20-371.70 Ha, Mamajang 6.11Ha dan Mariso 1.45-1.57 Ha dan Kabupaten Takalar seluas 82.50-85.71 Ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Allah SWT, Orang Tua dan semua pihak yang telah membantu dalam terwujudnya paper ini.

REFERENSI

- [1] Asdak C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [2] Army Corps of Engineers USA, 1998. *Manual HEC-RAS Version 4. Hydrologic Engineering Center (HEC): 609 Second Street Davis, CA 95616-4687.*
- [3] Arsyad, U. 2010. *Analisis Erosi Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan dan Kemiringan Lereng di Daerah Aliran Sungai Jeneberang Hulu.* Disertasi Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin: Makassar.
- [4] Dean Djokic and David R. Maidment .2012. *Introduction to HEC-RAS and Floodplain*

-
- Mapping. Course exercise for CE 374K Hydrology University of Texas:Austin.*
- [5] Lalu Makruf, Endang, T., 2001, *Dasar-dasar Analisis Aliran di Sungai dan Muara*, UII: Yogyakarta.
 - [6] Massinai M.A, Sudrajat A, Hirnawan F, dan Syafri I. 2013. *Deformasi Pola Aliran Sungai Jeneberang Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Penginderaan Jauh Nasional (PIT MAPIN): Semarang
 - [7] Restiana N. 2004. *Evaluasi Debit Aliran dan Debit Sedimen Akibat Perubahan Penggunaan Lahan: studi kasus Daerah Tangkapan Air (DTA) Cikumutu, Sub DAS Cimanuk Hulu* [skripsi]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
 - [8] Soemarto, C.D.1995.*Hidrologi Teknik*. Erlangga:Jakarta.
 - [9] Sudjarwadi. 1987. *Teknik Sumberdaya Air*. Universitas Gajah Mada-Press: Yogyakarta
 - [10] Wilson. E..M. 1993. *Hidrologi Teknik*. Insitut Teknologi Bandung: Bandung.
 - [11] Analysis Techniques: Flood Frequency Analysis from Streamflow Evaluations for Watershed Restoration Planning and Design, <http://water.oregonstate.edu/streamflow/>, Oregon State University, 2002-2005.
 - [12] Ven Te Chow,1988, *Applied Hydrology*,McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering:Singapura
 - [13] William.A.Thomas.1975, *Hydrolic Engineering Methods For Water Resources Development*, Institute For Water Resources Hydrolic Engineering Center. Internasional Hydrological :609 Second Street Davis CA 95616.

Inversi Seismik Berbasis Model untuk Identifikasi Reservoir Karbonat

Bambang Harimei Suprpto* dan Irnah Saluddin

Program Studi Geofisika Jurusan Fisika, Universitas Hasanuddin

*E-mail: bambang_harimei2004@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pemetaan porositas pada lapisan reservoir karbonat yang berada pada formasi tuban menggunakan metode inversi seismik berbasis model pada data seismic 3D. Dari hasil inversi yang dilakukan diperoleh nilai impedansi akustik antara 17000-5000 (ft.g/s.cc) dengan nilai porositas antara 10-17 % dimana daerah yang memiliki porositas antara 16-17 % termasuk dalam skala porositas yang baik yang memungkinkan dilakukan pengembangan sumur pada daerah tersebut.

Kata Kunci : reservoir karbonat, porositas, inversi seismik berbasis model

I. PENDAHULUAN

Karakterisasi reservoir merupakan usaha untuk identifikasi reservoir berdasarkan perilaku sifat-sifat atau parameter fisika dari batuan reservoir itu sendiri. Penggunaan data petrofisika hasil pengeboran (*well logging*) dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai sifat fisis dari batuan secara vertikal namun tidak dapat memberikan informasi secara menyeluruh pada daerah survei (resolusi lateral kurang baik), di samping itu data seismik memiliki cakupan yang luas dengan resolusi vertikal yang terbatas. Integrasi metoda seismik dengan data petrofisika batuan dari hasil pemboran dapat meningkatkan gambaran karakterisasi reservoir seperti distribusi porositas.

Teknik inversi seismik merupakan suatu metoda pemodelan kebalik (*reverse modeling*) dimana dilakukan proses mengubah data seismik yang berupa kumpulan nilai-nilai amplitudo ke dalam kumpulan nilai impedansi akustik (IA) yang nantinya akan digunakan dalam mengekstrak distribusi porositas dari batuan reservoir. Teknik inversi berbasis model sebelumnya pernah digunakan untuk menganalisa porositas pada lapisan reservoir karbonat suatu formasi Kais dan diperoleh nilai porositas antara 15-25%, di samping itu inversi rekursif juga pernah dilakukan untuk menganalisa porositas pada lapisan karbonat Formasi Tuban dan diperoleh nilai porositas antara 10-20%, dimana Formasi Tuban ini yang nantinya akan dianalisa menggunakan inversi berbasis model.

Data yang Digunakan

Daerah penelitian terletak tepat di perbatasan antara Cepu TAC (*Technical Assistance Contact*) dan blok "West Tuban" milik JOB PPEJ. Daerah

penelitian ini berada 135 km di sebelah Barat Surabaya dan batas barat dari daerah ini berbatasan dengan Kabupaten Bojonegoro. Data seismik yang digunakan dalam penelitian ini berupa data seismik 3D yang terdiri dari 408 *xline* dan 467 *inline*, selain itu juga digunakan 2 data sumur menunjukkan penampang seismik melewati sumur SKW-1, SKW-2.

Pengolahan Data

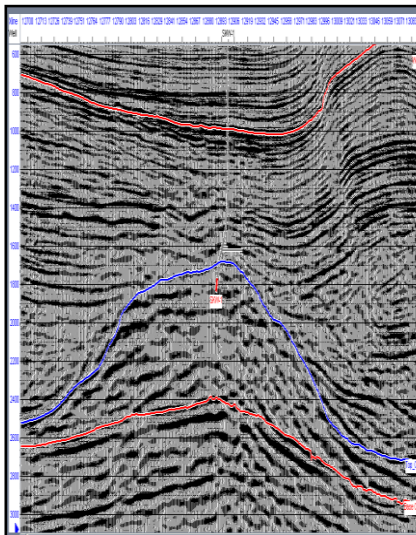
Tahapan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Database
pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang akan digunakan pada proses inversi meliputi data seismik dan data sumur.
2. Ekstraksi Wavelet.
Ekstraksi wavelet merupakan proses yang dilakukan untuk mengestimasi bentuk gelombang dari sumber getar yang telah terkonvolusi kedalam jejak seismik. Wavelet ini akan dikonvolusikan dengan reflektifitas dari data sumur sehingga menghasilkan sintetik yang akan digunakan untuk proses korelasi dengan data seismik.
Ekstraksi wavelet dilakukan dengan menggunakan informasi dari data sumur yang ada untuk mengekstraksi komponen amplitudo dan fasa.
3. Pengikatan Data Sumur dengan Data Seismik (*Well Seismic Tie*)
Proses ini merupakan penyesuaian kedudukan even pada jejak seismik dengan even pada data sintetik yang dihasilkan dari data sumur. Proses ini dilakukan dengan menggeser wiggle-wiggle sintetik ke posisi paling mirip dengan data seismik. Semakin tinggi harga korelasinya (mendekati angka 1) menunjukkan semakin tepat posisi sintetik terhadap data seismik (terkorelasi dengan

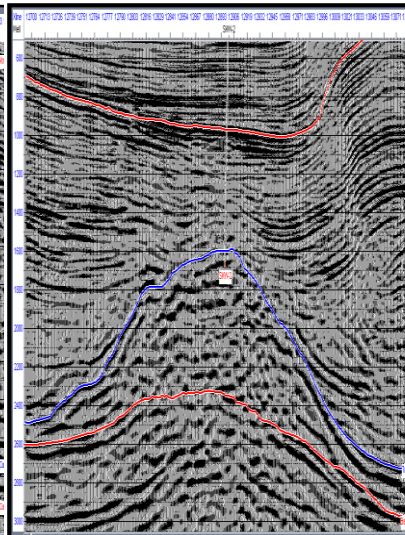
- baik). Data seismik yang dikorelasikan dengan sintetik adalah data seismik yang berupa reflektifitas gelombang P yaitu SKW-1, SKW-2 dan SKW-3.
4. Picking Horizon.
Proses ini dilakukan untuk menentukan mengetahui struktur suatu formasi atau lapisan sehingga dapat diambil kesimpulan mengenai keberadaan *closure*. Hasil picking ini juga akan digunakan untuk membuat model sebelum melakukan inversi seismik, horizon yang di-pick pada data seismik adalah Top Tuban Karbonat SKW-1, SKW-2, SKW-3.
 5. Membuat Model Awal.
Pembuatan model awal (*initial model*) sangat dipengaruhi oleh kualitas pengikatan data sumur dan data seismik. Oleh Karena itu pemilihan wavelet sangat mempengaruhi hasil dari model awal. Selain itu kesalahan penarikan picking horizon sangat mempengaruhi hasil dari model awal. Model dugaan awal dibuat dengan menggunakan log impedansi akustik SKW-1. Data sumur tersebut digunakan sebagai acuan nilai impedansi, sedangkan horizon digunakan sebagai control/panduan dalam melakukan interpolasi dan ekstrapolasi nilai impedansi gelombang P secara lateral. Model awal dalam proses inversi ini digunakan untuk mengontrol hasil inversi.
 6. Melakukan Inversi Berbasiskan Model.
Proses inversi berbasiskan model dilakukan dengan menggunakan pembatas lunak (*soft constrain*). pembatas ini mempunyai range nilai dari 0 sampai 1. Jika nilai yang dipakai adalah nol maka artinya model awal diabaikan sehingga hasil akhir yang diperoleh adalah benar-benar murni dari data seismik, sedangkan nilai satu menyatakan bahwa data seismik tidak digunakan tapi hasil akhirnya berdasarkan model awal yang telah dibuat sebelumnya.
 7. Penampang Porositas
Model porositas ini dihasilkan dengan cara mencari hubungan kelinieran antara hasil impedansi akustik dan porositas. Hubungan kelinieran ini didapatkan dari hasil crossplot antara impedansi akustik hasil inversi dengan porositas yang merupakan properti sumur. Hasil analisis ini kemudian akan digunakan untuk membuat penampang porositas.

II. HASIL DAN DISKUSI

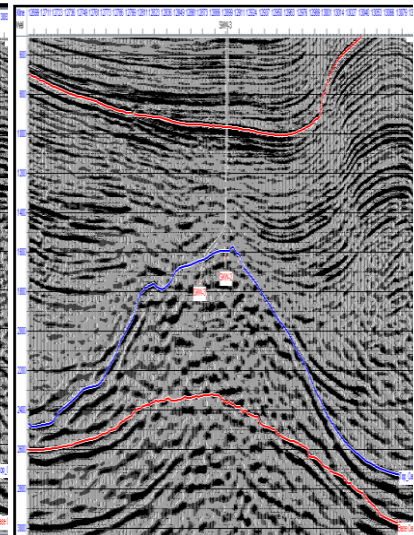
Hasil yang diperoleh berupa penampang porositas yang memperlihatkan sebaran porositas pada daerah survey.



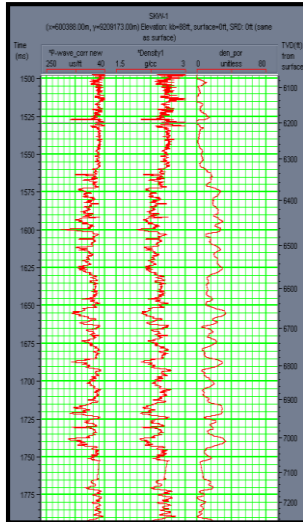
Gambar.1. Penampang seismik melewati sumur SKW-1



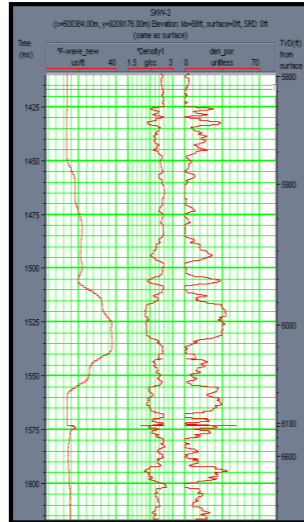
Gambar.2. Penampang seismik melewati sumur SKW-2



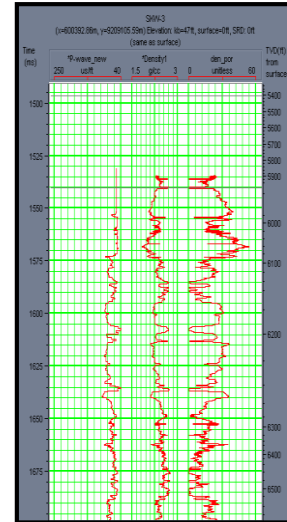
Gambar.3. Penampang seismik melewati sumur SKW-3



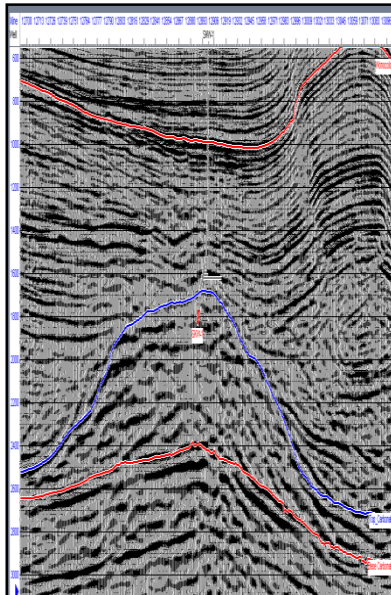
Gambar.1a. Data sumur SKW-1



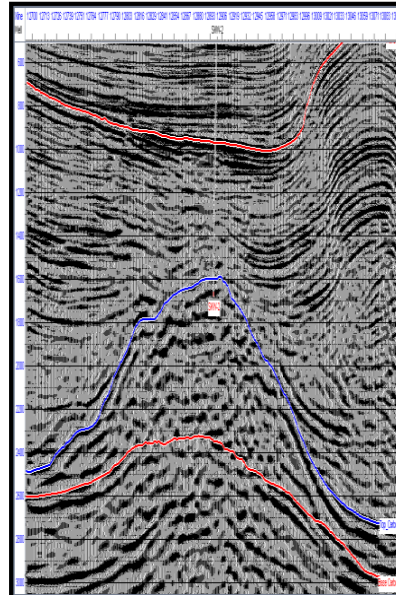
Gambar.2a. Data sumur SKW-2



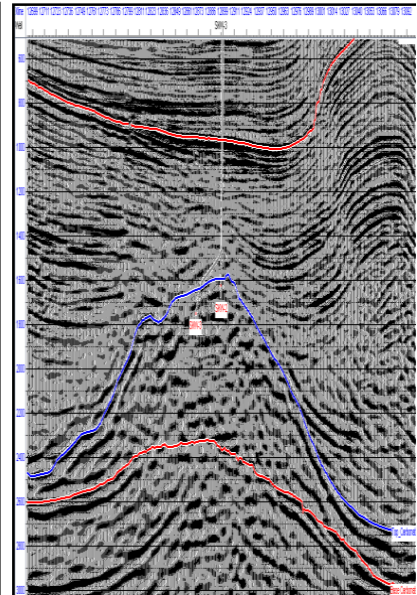
Gambar.3a. Data sumur SKW-3



Gambar1b. Hasil picking SKW-1



Gambar 2b. Hasil Picking SKW-2



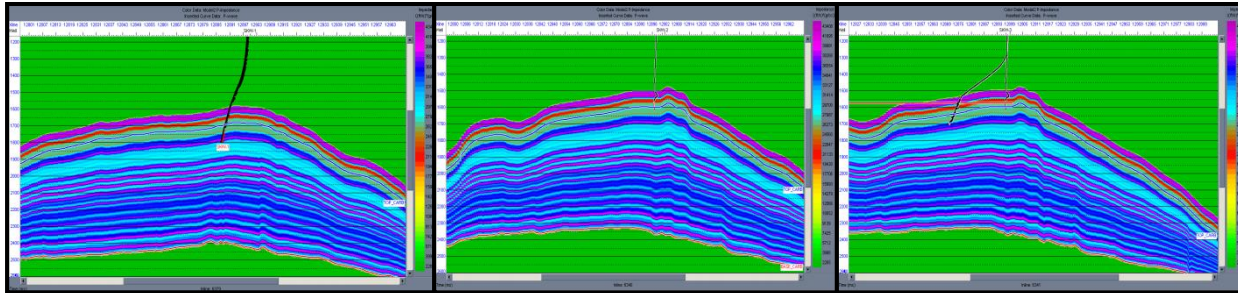
Gambar 3b. Hasil Picking SKW-3

Diskusi

Pengikatan Data Sumur dengan Data Seismik (*Well Seismic Tie*)

Well seismic tie dilakukan dengan ekstraksi wavelet dari data seismik untuk mengestimasi bentuk wavelet gelombang sumber getar yang terkonvolusi kedalam *trace* seismik. Wavelet hasil ekstraksi di konvolusikan dengan koefisien refleksi yang diperoleh dari sumur pengeboran sehingga menghasilkan seismogram sintetik. Wavelet yang digunakan dipilih berdasarkan nilai korelasi terbaik antara data seismik dengan sintetik hasil konvolusi reflektifitas sumur dan wavelet. Ekstraksi

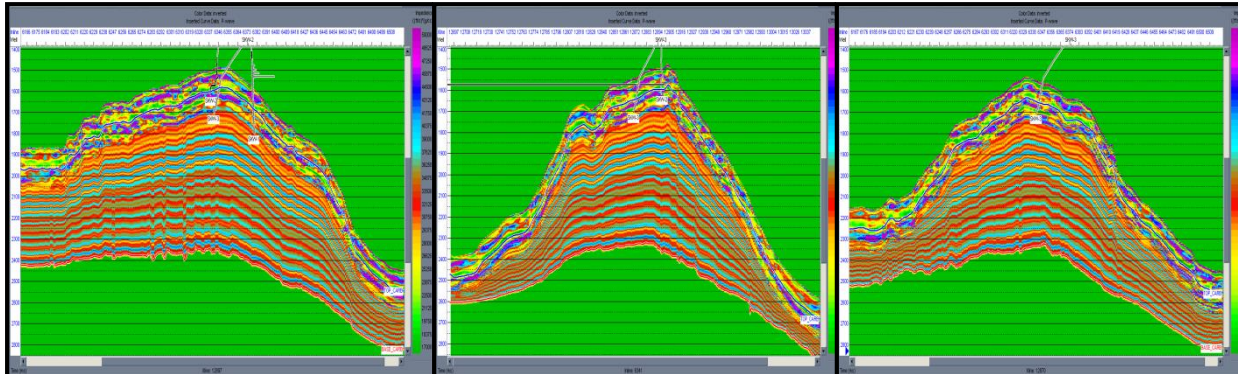
wavelet yang dilakukan terhadap tiga sumur yaitu Sumur SKW-1, Sumur SKW-2, Sumur SKW-3 diperoleh wavelet dengan menggunakan informasi dari data sumur yang ada. *Well seismic tie* yang dilakukan pada Sumur SKW-1 diperoleh nilai korelasi sebesar 0.788, Sumur SKW-2 dengan nilai korelasi sebesar 0.809 dan Sumur SKW-3 sebesar 0.605. Proses *well seismic tie* yang dilakukan pada ketiga sumur sehingga horizon pada data seismik dapat teridentifikasi dimana diperoleh dua horizon yaitu Top Tuban Karbonat dan Base Tuban Karbonat (Gambar 4, 5 dan 6).



Gambar 4. Model Awal Geologi melewati sumur SKW-1 inline 6379

Gambar 5. Model Awal Geologi melewati sumur SKW-2 inline 6379

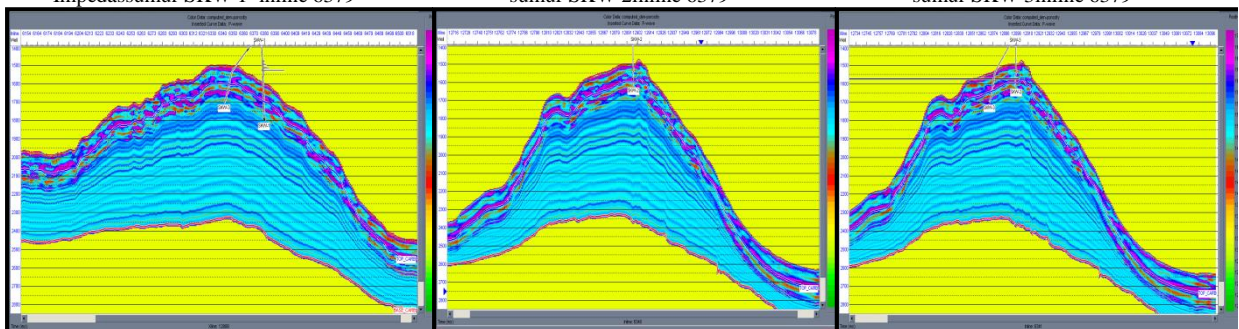
Gambar 6. Model Awal Geologi melewati sumur SKW-3 inline 6379



Gambar 4a. Penampang akustik Impedassumur SKW-1 inline 6379

Gambar 5a. Penampang akustik Impedasi sumur SKW-2 inline 6379

Gambar 6a. Penampang seismik melewati sumur SKW-3 inline 6379



Gambar 4b. Penampang porositas sumur SKW-1

Gambar 5b. Penampang porositas Suur SKW2

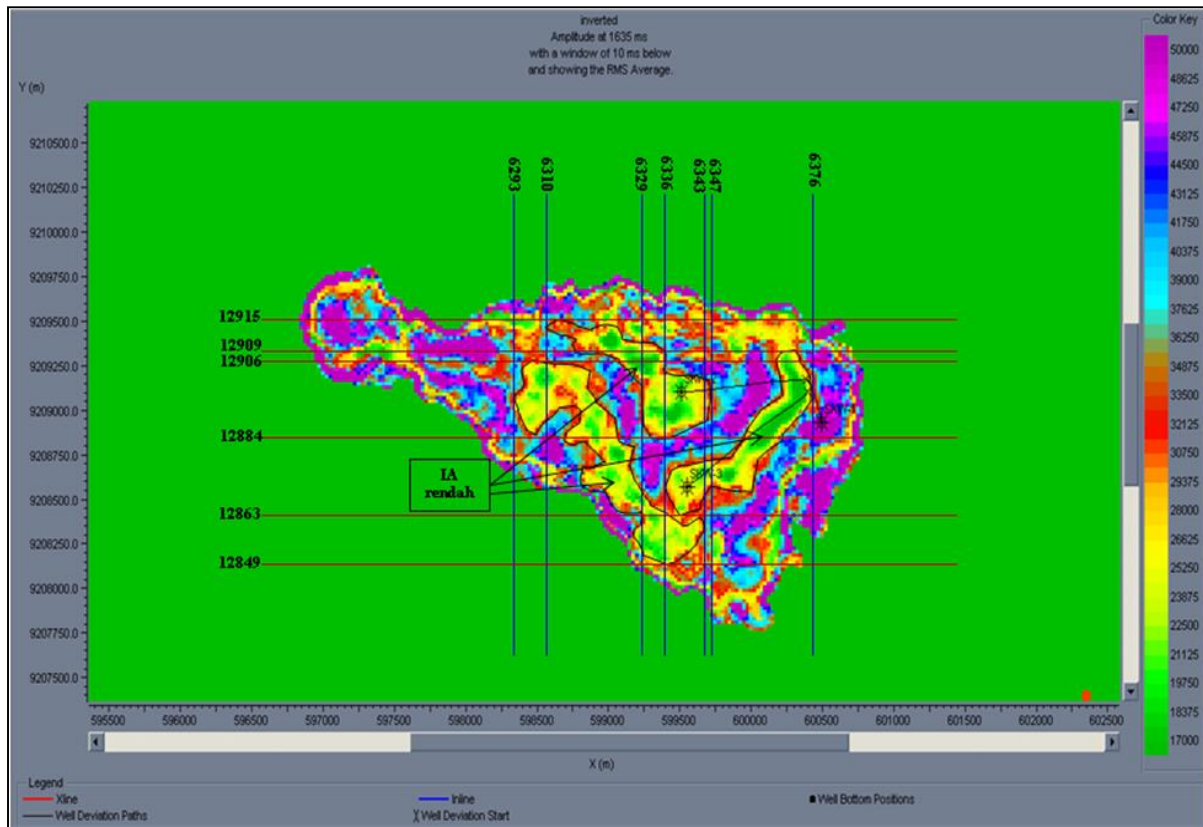
Gambar 6b. Penampang porositas sumur SKW3

Analisis Impedasi Akustik

Inversi seismik merupakan suatu metoda yang digunakan untuk mendapatkan nilai Impedansi Akustik dari data seismik yang hanya memberikan informasi amplitudo. Impedansi Akustik yang diperoleh menggambarkan karakter spesifik dari lapisan dimana dari Impedansi Akustik yang diperoleh dari hasil inversi dapat dihubungkan dengan porositas. Hasil inversi data seismik menunjukkan bahwa nilai atau harga Impedansi Akustik yang bervariasi untuk litologi yang berbeda. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 7.

Gambar 7 memperlihatkan harga Impedansi Akustik yang relatif tinggi ditunjukkan dengan indeks warna ungu dengan nilai 50000 (ft.g/s.cc) sedangkan harga Impedansi Akustik yang rendah

ditunjukkan dengan indeks warna hijau dengan nilai 17000 (ft.g/s.cc), impedansi akustik rendah berada di bawah Top reservoir dengan nilai impedansi akustik antara 17000-25000 (ft.g/s.cc) sedangkan Top karbonat memperlihatkan nilai Impedansi Akustik yang tinggi (indeks warna ungu) dengan nilai Impedansi Akustik 5000(ft.g/s.cc). Perbedaan nilai Impedansi Akustik yang begitu besar menunjukkan adanya batas lapisan antara batu pasir dan karbonat. *Time slice* 10 ms di bawah time 1635 ms yang merupakan bidang batas antara air dan minyak (OWC) memperlihatkan daerah yang memiliki nilai Impedansi Akustik yang rendah (*low impedance*) dengan nilai antara 17000 25000(ft.g/s.cc). Dari ketiga sumur yang ada dua sumur yaitu SKW-2 dan SKW-3 terletak pada

Gambar 7. *Time slice* 1635 ms (impedansi akustik).

daerah yang memiliki nilai Impedansi Akustik rendah (17000-25000 ft.g/s.cc) sedangkan 1 sumur yaitu SKW-1 terletak pada daerah yang nilai Impedansi Akustik tinggi (5000 ft.g/s.cc).

Analisis Porositas

Penampang porositas yang dihasilkan memperlihatkan sebaran nilai porositas pada top karbonat dengan nilai porositas antara 12-17 %.

Gambar 8 menunjukkan daerah yang poros

tepat berada di bawah Top karbonat dengan nilai porositas antara 16-17% ditunjukkan dengan indeks warna ungu, bagian atas Top karbonat ini juga memperlihatkan nilai porositas yang sama (16-17%) hal ini disebabkan karena lapisan yang berada di atas batuan karbonat adalah batu pasir yang merupakan batuan reservoir tetapi analisa dibatasi hanya pada reservoir karbonat.

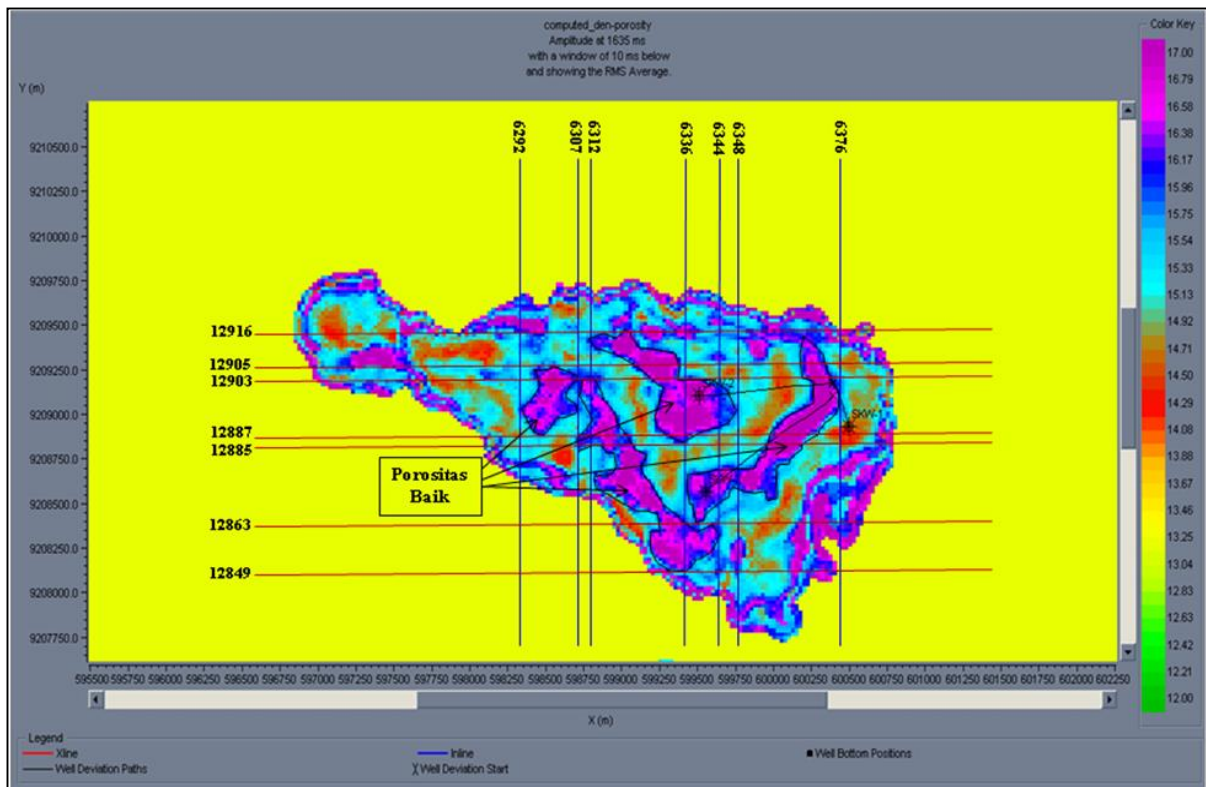
Gambar 8 *Time slice* 10 ms dibawah 1635 ms yang dilakukan pada penampang porositas memperlihatkan daerah yang memiliki nilai porositas tinggi antara 16-17% (indeks warna ungu). Dari hasil *time slice* dapat diketahui bahwa daerah yang memiliki porositas tinggi dengan nilai antara 16-17% (skala baik) berada

pada Utara-Selatan sumur SKW-3, Timur-Barat sumur SKW-2 dan sebelah Barat sumur SKW-1.

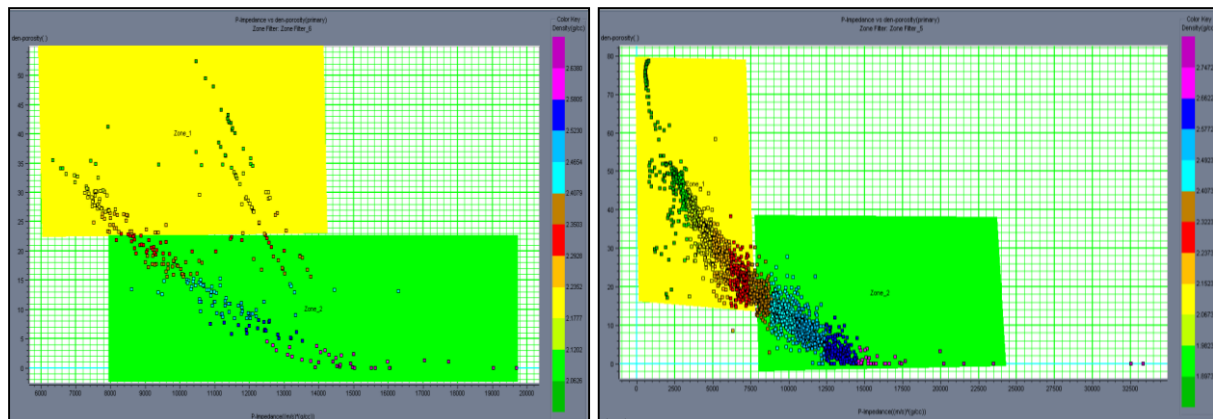
Dari ketiga sumur yang ada dua diantaranya (SKW-2 dan SKW-3) berada pada daerah yang nilai porositasnya antara 16-17% (porositas baik), sedangkan sumur SKW-1 berada pada daerah yang nilai porositasnya antara 13.8-14.7% yang termasuk dalam skala cukup.

Crossplot Antara Impedansi Akustik Dan Porositas

Hasil *crossplot* yang digunakan mencari hubungan kelinieran antara Impedansi Akustik dan porositas memperlihatkan bahwa nilai Impedansi Akustik berbanding terbalik dengan nilai porositas, semakin kecil nilai Impedansi Akustik maka nilai porositas semakin besar.



Gambar 8. *Time slice* 1635 ms (porositas)



Gambar 9 . Crossplot nilai impedansi akustik dan porositas

III. KESIMPULAN

Dari analisa yang dilakukan dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Formasi Tuban memiliki nilai porositas dengan persentase antara 12-17%, berdasarkan skala penentuan nilai porositas diketahui bahwa nilai porositas 16 -17 % termasuk dalam skala porositas baik (*good porosity*).
2. Daerah yang memiliki porositas bagus (*good porosity*) berada pada *inline* 6292 – *inline* 6376 dan *xline* 12849 – *xline* 12916 yang

merupakan prospek sebagai cadangan reservoir baru dimana daerah tersebut memiliki nilai porositas yang baik dengan persentase 16% - 17%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan kepada *General Manager* dan *Exploration Manager* JOB Pertamina-PetroChina East Java yang telah memberikan Data seismik. JOB Pertamina-PetroChina East Java yang telah banyak memberikan saran dan masukan. Laboratorium Geofisika Universitas Hasanuddin tidak lupa diucapkan terima kasih kepada mahasiswa serta laboran yang telah membantu selama penelitian di laboratorium.

REFERENSI

- [1] Barnes, A.E., 1999. *Seismic Attributes Past, Present and Future*, Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstracts.
- [2] Koesoemadinata, R. P., 1978, *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [3] Munadi, S. 2000. *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- [4] Russel, B.H, 1997, *EMERGE Theory*, Hampson Russel Software Services Ltd. Calgary, Alberta.
- [5] Sukmono, S, 2000. *Atribut Seismik Untuk Karakteristik Reservoir*. Jurusan Teknik Geofisika, ITB, Bandung.

Karakterisasi Reservoir Karbonat Menggunakan Analisis Seismik Atribut Dan Inversi Impedansi Akustik (AI)

Nur Najmiah Tullailah, Lantu* dan Sabrianto Aswad

Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*E-mail: geolantu@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian dilakukan pada formasi Kais, Lapangan 'NNT', Cekungan Salawati yang didominasi oleh keberadaan Karbonat Reef. Metode yang digunakan adalah Analisis Seismik Atribut dan Inversi Impedansi Akustik. Analisis Seismik Atribut bertujuan untuk delineasi batas bodi Karbonat Reef, sedangkan Inversi Impedansi Akustik untuk mengetahui karbonat yang bersifat Porous dan Tight, serta analisis penyebaran nilai Impedansi Akustik secara lateral guna menentukan zona prospek pengembangan eksploitasi. Hasil dari analisis seismik atribut menggunakan atribut variance dapat menunjukkan batas bodi karbonat reef yang berada pada bagian timur, tengah dan menyebar hingga ke bagian utara dari lapangan "NNT". Hasil dari inversi Impedansi Akustik menggunakan metode model based dapat memperlihatkan zona porous dengan nilai AI rendah $< 40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))}$ dan zona tight dengan nilai AI tinggi $> 40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))}$. Hasil slicing pada horizon Kais memperlihatkan penyebaran nilai AI rendah secara lateral berada pada bagian tengah dan menyebar ke arah utara dari lapangan "NNT" dan berpotensi sebagai zona prospek pengembangan eksploitasi.

Kata Kunci: Seismik Atribut, Impedansi Akustik, Karbonat Reef

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi secara signifikan, khususnya sumber energi minyak dan gas, menyebabkan eksplorasi sumber daya alam perlu semakin diefektifkan. Salah satu bagian eksplorasi adalah menggambarkan karakter reservoir secara kuantitatif maupun kualitatif, karena hal ini penting untuk manajemen reservoir [10]. Dalam suatu eksplorasi minyak dan gas bumi, informasi tentang karakter reservoir mutlak diperlukan. Pengetahuan tentang karakter reservoir dari segi geometri, bodi, dan aspek fisis reservoir yang berkembang, dapat membantu dalam menemukan dan mengembangkan wilayah yang memiliki prospek minyak dan gas bumi.

Metode seismik refleksi sampai saat ini merupakan metode yang paling unggul untuk memberi gambaran kondisi bawah permukaan bumi secara komprehensif seperti struktur perlapisan, struktur geologi, indikator hidrokarbon, serta sifat fisis reservoir. Metode analisis data seismik sangat potensial dimanfaatkan untuk karakterisasi reservoir. Analisis data seismik tersebut meliputi analisis atribut dan inversi data seismik, dengan memanfaatkan seluruh informasi yang dimiliki data seismik, baik secara pengukuran langsung maupun dengan analisis matematik.

Kenampakan adanya patahan dan bentuk bodi reservoir kurang bisa terlihat jelas pada data

seismik konvensional, oleh karena itu perlu dilakukan analisis seismik atribut yang dapat memperlihatkan adanya patahan dan bentuk bodi reservoir secara lebih jelas. Pada data seismik konvensional juga tidak dapat memperlihatkan sifat fisis dari litologi secara lebih jelas karena umumnya amplitudo pada seismik konvensional hanya memberikan gambaran batas lapisan, oleh sebab itu perlu dilakukan metode inversi seismik untuk melihat sifat fisis Impedansi Akustik pada lapisan itu sendiri.

Penelitian metode seismik inversi telah dilakukan oleh referensi [4] yang melakukan prediksi sebaran porositas pada lapisan karbonat dengan menggunakan metode inversi *Model Based* menggunakan data seismik 3D yang dilakukan pada formasi Kais, cekungan Salawati namun pada lapangan yang berbeda dengan yang akan dilakukan pada penelitian ini. Perbandingan metode inversi dalam mengkarakterisasi reservoir gas pada blok "AP" yang terletak pada cekungan Jawa Timur telah dilakukan oleh Asnur Pratama (2011) menunjukkan hasil metode Inversi *Model based* menghasilkan penampang impedansi akustik (IA) dan menggambarkan keadaan geologi yang mendekati keadaan sebenarnya dibanding dengan metode inversi lainnya. Adapun tujuan penelitian ini ialah:

1. Delineasi batas bodi karbonat reef berdasarkan Analisis seismik atribut.

2. Untuk mengetahui karbonat yang memiliki porositas yang baik (*porous*) dan karbonat yang kompak (*tight*) pada reservoir.
3. Analisis penyebaran nilai impedansi akustik secara lateral untuk menentukan zona prospek pengembangan eksploitasi.

II. DASAR TEORI

Impedansi Akustik

Impedansi akustik atau *Acoustic Impedance (AI)* merupakan sifat yang khas pada batuan yang merupakan hasil perkalian antar densitas (ρ) dan kecepatan gelombang seismik (v). Secara matematis persamaan *AI* adalah sebagai berikut:

$$AI = \rho v$$

dengan :

AI = Impedansi Akustik (ft/s. g/cc)

ρ = densitas (g/cc)

v = kecepatan gelombang seismik (ft/s)

Perubahan nilai *AI* dapat menandakan perubahan karakteristik batuan seperti litologi, porositas, kekerasan, dan kandungan fluida. *AI* dapat dianalogikan berbanding lurus terhadap kekerasan batuan dan berbanding terbalik dengan porositas.

Seismik Inversi

Inversi seismik didefinisikan sebagai teknik pemodelan geologi bawah permukaan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai pengontrol menurut [10]. Inversi akustik impedansi dilakukan untuk memprediksi informasi sifat fisis bumi berdasarkan informasi rekaman seismik yang diperoleh. Impedansi akustik merupakan sifat batuan yang dipengaruhi oleh jenis lithologi, porositas, kedalaman, tekanan dan temperatur. Metode inversi berbasis model disebut juga metode *blocky* karena impedansi akustik tersusun atas blok-blok kecil. Dengan mengkonvolusikan impedansi akustik dengan *wavelet* diperoleh koefisien refleksi yang kemudian menghasilkan seismogram sintetik pada tiap-tiap trace. Seismogram sintetik ini kemudian dibandingkan dengan tras seismik sebenarnya dan dihitung kesalahannya. Proses ini dilakukan secara iteratif dengan memodifikasi blok trace model hingga diperoleh hasil sintetik dengan kesalahan terkecil. Impedansi akustik hasil modifikasi model awal inilah yang merupakan hasil akhir inversi [10].

III. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Data dan Perangkat yang digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder yang terdiri dari Data seismik 3D Post_stack dan 4 buah sumur yang masing-masing terdiri dari beberapa log namun yang digunakan hanya log sonic, log densitas, dan log neutron-porosity (NPHI). Data seismik ini memiliki jumlah Inline 347 (103-450), Cross line 215 (130-345), dengan sampling rate 2 ms. Data *checkshot* merupakan data kedalaman dan waktu tempuh (TWT) digunakan untuk mengkonversi data sumur dalam domain kedalaman ke domain waktu.

Adapun perangkat yang digunakan ialah Software Hampson Russell CE.8 dan Petrel 2008. Tahap Pengolahan Data terbagi menjadi dua bagian yaitu Analisis Seismik Atribut dan Seismik Inversi.

Analisis Seismik Atribut

Analisis seismik atribut dilakukan dengan menggunakan software Petrel 2008.1.1 dengan data seismik post-stack dan data horizon sebagai input. Pada tahap ini dilakukan analisis atribut menggunakan metode *surface atribut* yang sebelumnya telah dibentuk dari data horizon seismik. Atribut yang digunakan ialah atribut *Variance* yang dilakukan untuk mengetahui ketidakmenerusan lapisan yang terjadi pada horizon, yang terjadi akibat adanya diskontinuitas yang menggambarkan adanya patahan dan bodi reservoir dalam hal ini reservoir karbonat reef.

Seismik Inversi

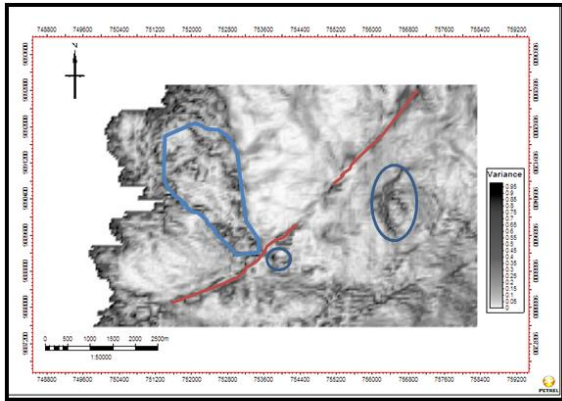
Proses seismik inversi dilakukan untuk mengkonversi domain data sumur dari kedalaman menjadi domain waktu. Selanjutnya melakukan analisis crossplot antara log Neutron-Porosity (NPHI) dan Log Impedansi Akustik (AI) untuk melihat hubungan antara nilai AI dan porositas. Proses berikutnya adalah pembuatan sintetik seismogram untuk memproses *Well Seismic Tie*. Data sumur dan data seismik yang telah melalui proses well seismic tie dan telah terikat dengan baik dengan korelasi yang tinggi, selanjutnya membuat model awal impedansi akustik dengan kontrol AI dari data sumur yang di ekstrapolasi pada data seismik dengan kontrol horizon. Tahap selanjutnya adalah analisis seismik atribut menggunakan atribut *variance*

untuk delineasi batas bodi karbonat reef dan melihat penyebaran nilai impedansi akustik (AI)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Seismik Atribut

Berikut ini hasil analisa seismik atribut *variance* pada lapangan "NNT" formasi Kais:



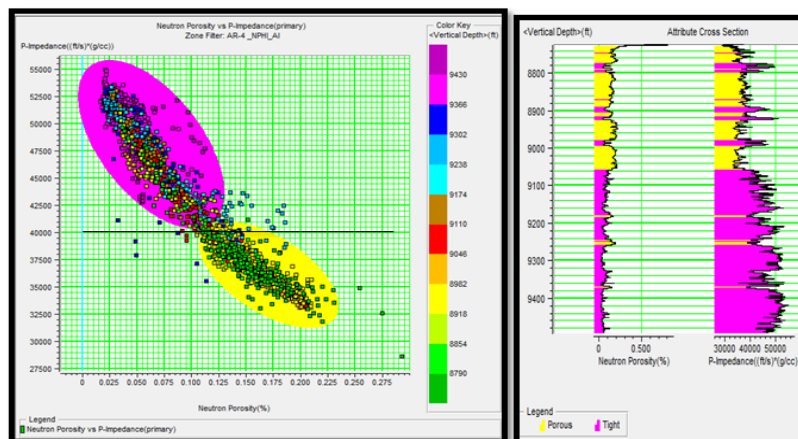
Gambar 4.1 Peta Atribut Variance

Gambar di atas menunjukkan hasil analisis seismik atribut *variance* yang diolah pada software petrel 2008. Parameter yang dimasukkan pada pengolahan atribut *variance* ialah window inline = 3, xline = 3, dan vertical = 15 ms. Dari hasil atribut *variance* di atas

menunjukkan bentuk dari bodi reservoir karbonat reef yang ditandai dengan *variance* berwarna hitam yang merupakan indikasi terjadinya diskontinuitas dengan daerah sekitarnya, hal itu ditunjukkan pada daerah yang berwarna biru, sementara itu patahan juga nampak jelas yang ditunjukkan oleh garis berwarna merah. Dari gambar, dapat dilihat bahwa terdapat karbonat reef di bagian timur dari lapangan "NNT", serta di bagian tengah dan bagian utara. Patahan juga terlihat jelas di bagian tengah berada di antara karbonat reef. Peta tampilan atribut *variance* pada 10 ms, 20 ms, 30 ms, dan 40 ms *below horizon* menunjukkan hasil atribut *variance* yang berbeda.

A. Analisis Crossplot

Analisis crossplot dilakukan antar log neutron-porosity (NPHI) dan nilai impedansi akustik oleh log p-impedansi yang didapatkan dari perkalian antara log sonic (p-wave) dan log density, untuk memisahkan zona yang memiliki porositas yang baik (*porous*) dan zona yang kompak (*tight*) pada reservoir karbonat.



Gambar 4.2. Crossplot NPHI dan AI pada sumur AR-4

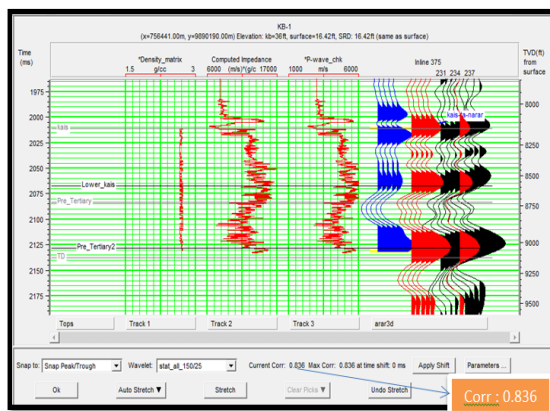
Gambar 4.2 menunjukkan hasil crossplot antara log Neutron-porosity (NPHI) dan log Impedansi Akustik (AI) pada litologi karbonat untuk membedakan karbonat yang bersifat *porous* dan karbonat yang *tight*. Sebagaimana diketahui karbonat yang porous ditunjukkan dengan nilai impedansi yang relatif rendah dan neutron-

porosity yang tinggi hal ini dapat terlihat pada zona berwarna kuning yang merupakan zona *porous* dengan nilai Impedansi Akustik rendah berkisar 32500 – 40000 ((ft/s)*(g/cc)) = $99.125 \times 10^5 - 122 \times 10^5$ ((m/s)*(kg/m³)) dan neutron-porosity yang tinggi, sedangkan karbonat yang bersifat *tight* ditunjukkan dengan nilai impedansi

akustik yang relatif tinggi berkisar 40000 – 55000 ((ft/s)*(g/cc)) = $122 \times 10^5 - 167.75 \times 10^5$ ((m/s)*(kg/m³)) dan neutron-porosity rendah yang terlihat pada zona yang berwarna ungu.

B. Ekstraksi Wavelet Dan Well Seismik Tie

Pada penelitian ini, tahap ekstraksi *wavelet* merupakan tahap yang cukup mengambil waktu karena merupakan proses *trial and error*. Ekstraksi berulang kali dilakukan hingga memperoleh wavelet yang sesuai, untuk menghasilkan korelasi yang tinggi antara seismogram sintetis dengan seismik yang sebenarnya pada proses *well seismik tie*. Gambar dibawah menunjukkan wavelet yang digunakan untuk membuat seismogram sintetis. Wavelet diekstrak secara statistik dengan *wave length* 150 ms dan *taper length* 25 ms dan *phase rotation* 0. Frekuensi dominan ~ 15 Hz Korelasi yang cukup baik ditunjukkan oleh ke sesuaian sintetik seismogram dengan nilai korelasi yang cukup baik yakni 0.836 pada sumur KB-1, 0.669 pada sumur SA-1, 0.962 pada sumur AR-4, dan 0.543 pada sumur AR-1.



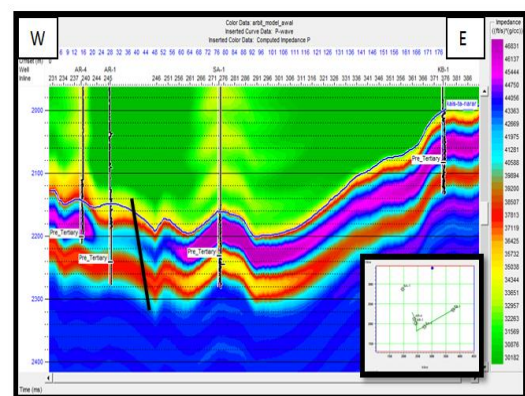
Gambar 4.4 Hasil *well seismik tie* pada sumur KB-1

C. Analisis Proses Inversi

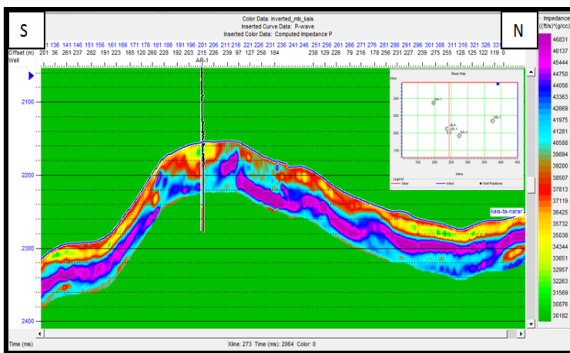
Proses inversi di mulai dengan pembuatan model awaldengan menggunakan data sumur dan horizon. Horizon digunakan sebagai panduan dalam ekstrapolasi data sumur terhadap volume seismik. Model awal digunakan untuk melihat korelasi antara model AI dan log AI Sumur : Gambar 4.6 menunjukkan penampang *traverse line* dari model awal yang melewati ke empat sumur, dimana adanya patahan yang berada pada daerah antara sumur AR-1 dan SA-1 bila dilihat dari kemenerusan nilai impedansi akustiknya. Hal itu juga sesuai dengan hasil analisis atribut *variance* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1

1. Hasil Inversi Model Based

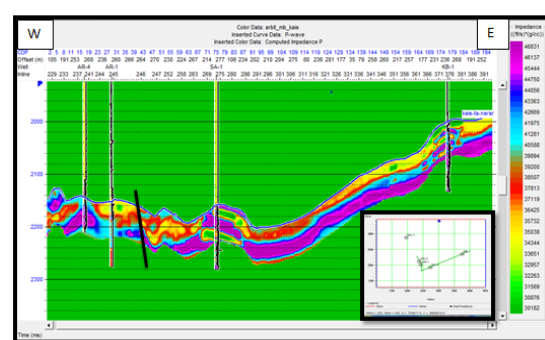
Metode model based menggunakan softconstrain dengan nilai 0.5 yang berarti 50 % model bergantung pada model awal yang telah dibuat sebelumnya dan 50 % lagi bergantung terhadap data seismik. Inversi dilakukan pada horizon Kais +70 ms ke bawah dari horizon yang merupakan posisi dari reservoir karbonat dalam domain time pada seismik.



Gambar 4.6 *Traverse line* Model awal yang melewati sumur ke-4 sumur



Gambar 4.8 Hasil Inversi AI pada inline 243 melewati sumur AR-1



Gambar 4.9 *Traverse line* hasil inversi AI melewati sumur AR-4, AR-1, SA-1, dan KB-1

Gambar 4. 8 menunjukkan hasil inversi pada inline 243 yang melalui sumur AR-1, dari hasil inversi dapat dilihat kemiripan antara nilai AI secara vertikal pada sumur dengan nilai AI secara lateral pada seismik. Hal ini menunjukkan bahwa hasil inversi cukup baik. Hasil inversi juga menunjukkan persebaran nilai impedansi akustik (AI) pada reservoir karbonat. Hasil memperlihatkan karbonat pada Kais memiliki nilai AI yang rendah berkisar $30000-40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))} = 91.5 \times 10^5 - 122 \times 10^5 \text{ ((m/s)*(kg/m}^3\text{))}$. Nilai AI yang rendah ditunjukkan oleh warna hijau-merah berada pada bagian atas formasi, indikasi zona *porous* berdasarkan hasil analisis crossplot log sumur yang dilakukan sebelumnya, dimana AI rendah berasosiasi dengan porositas yang tinggi. Nilai AI yang tinggi berkisar $41000-47000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))} = 125.05 \times 10^5 - 143.35 \times 10^5 \text{ ((m/s)*(kg/m}^3\text{))}$ (biru-ungu) berada pada bagian bawah formasi indikasi zona *tight*. Hasil inversi AI yang hampir sama juga terlihat pada inline yang melewati sumur AR-4, SA-1, dan KB-1. Gambar 4.9 menunjukkan *traverse line* hasil inversi yang melewati ke empat sumur produksi AR-1, AR-4, SA-1, dan KB-1. Hasil inversi menunjukkan zona *porous* dan zona *tight* dari karbonat yang berada disekitar sumur. Indikasi adanya patahan antara sumur AR-1 dan SA-1 juga terlihat dari hasil inversi di atas yang ditunjukkan oleh garis berwarna hitam.

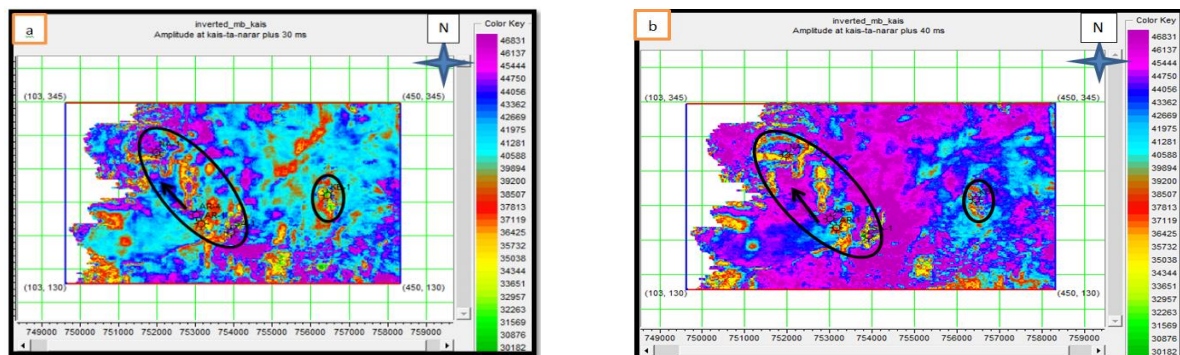
2. Analisis Hasil Slice

Untuk melihat penyebaran nilai Impedansi Akustik secara lateral pada lapangan, maka dilakukan *slicing* pada horizon. Gambar 4.10 menunjukkan penampang slice hasil inversi pada horizon Kais dengan time 30 ms dan 40 ms

dibawah horizon Kais. Time 30 ms dan 40 ms di bawah horizon dipilih karena merupakan time zona produksi dari sumur SA-1 dan AR-1, dengan demikian nilai AI disekitar sumur SA-1 dan AR-1 dapat menjadi acuan dalam melihat penyebaran nilai AI yang hampir sama dengan nilai AI disekitar sumur tersebut. *Slicing* juga dilakukan pada time 5 ms, 10 ms, dan 20 ms dibawah horizon.

Dari hasil slice dapat dilihat penyebaran nilai impedansi akustik dimana nilai AI yang rendah terlihat di sekitar sumur AR-1 yang ditunjukkan oleh warna kuning-merah dengan nilai AI kurang dari $40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))} = 122 \times 10^5 \text{ ((m/s)*(kg/m}^3\text{))}$ juga tersebar ke arah utara dari sumur AR-1 dan daerah sekitar sumur NA-1 serta di bagian timur dari lapangan "NNT" sekitar sumur KB-1.

Penyebaran nilai AI rendah ditandai pada lingkaran hitam yang juga merupakan daerah penyebaran dari bodi karbonat reef, seperti yang terlihat pada peta hasil analisis seismik atribut *variance* (Gambar 4.1). Karena AI tidak dapat mengidentifikasi fluida pengisi reservoir, maka asumsi AI yang rendah yang ditunjukkan oleh warna kuning-merah dengan nilai AI $< 40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))}$ berkisar $33651-39894 \text{ ((ft/s)*(g/cc))} = 102.64 \times 10^5 - 121.68 \times 10^5 \text{ ((m/s)*(kg/m}^3\text{))}$ berasosiasi dengan porositas yang tinggi dan mengacu pada hasil analisis crossplot antara log AI dan log Neutron-Porosity (NPHI), sehingga dapat diindikasikan sebagai reservoir karbonat yang *porous* yang berpotensi sebagai zona prospek pengembangan eksploitasi.



Gambar 4.10 Slice Hasil Inversi pada horizon kais a). Time 30 ms di bawah horizon Kais. b) Time 40 ms di bawah horizon Kais.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Analisis Atribut *Variance* dapat menunjukkan delineasi bentuk dari bodi karbonat reef ditunjukkan dengan nilai diskontinuitas yang tinggi berwarna hitam dibanding dengan daerah sekitarnya dan berada di bagian timur, tengah dan menyebar hingga ke arah utara dari lapangan "NNT".
2. Hasil inversi impedansi akustik pada reservoir karbonat dapat memisahkan antara karbonat yang *porous* dan karbonat yang *tight*. Dimana karbonat yang *porous* memiliki nilai $IA < 40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))}$ umumnya berada pada bagian atas dari formasi Kais, sedangkan karbonat *tight* memiliki nilai $IA > 40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))}$ berada di bagian bawah dari formasi Kais.
3. Hasil slice pada horizon Kais dapat menunjukkan penyebaran impedansi akustik dimana impedansi akustik yang rendah $< 40000 \text{ ((ft/s)*(g/cc))}$ pada kedalaman 30 ms dan 40 ms di bawah Kais berada disekitar sumur AR-1, AR4 dan menyebar di bagian utara dari lapangan "NNT" di sekitar sumur NA-1, dan berpotensi sebagai reservoir yang baik dan menjadi daerah pengembangan eksploitasi.

B. Saran

1. Perlu dilakukan analisis lebih jauh terhadap beberapa atribut seismik yang dapat memperlihatkan bodi reservoir karbonat reef secara jelas seperti atribut *coherence*, *similarity*, dan *curvature*.
2. Untuk mengetahui nilai porositas keseluruhan pada data seismik, sebaiknya membuat penampang *pseudo neutron-porosity* menggunakan metode multi atribut dan Neural Network.

REFERENSI

- [1] Abdullah, A. Ensiklopedia Seismik Online. 2007, Juli, 1. Availbale from: <http://ensiklopediseismik.blogspot.com/2007/07/html>.
- [2] Bacon, M.,Simm, R., Redshaw,T. (2003). *3-D Seismic Interpretation*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- [3] Brown, R.A, 2000, *Interpretation of Three Dimensional Seismic Data Fifth Edition*, AAPG Memoir 42
- [4] Faisal, 2009, *Prediksi Sebaran Porositas Pada Lapisan Karbonat Dengan Menggunakan Metode Inversi Berbasis Model Pada Data Seismik 3D*, Skripsi, Universitas Hasanuddin.
- [5] Hamilton, W., 1979, *Tectonics of the Indonesian region*, United States Geological Survey Professional Paper No. 1078, United Stated Geological Survey, Denver.
- [6] Hampson, D. dan Russell, B., 2001, *STRATA: Seismic Inversion Workshop*, Hampson-Russel Software Services Ltd, Canada.
- [7] Hanif, 2013, *Karakterisasi Struktur Sesar Dan Rekahan Untuk Kompartementalisasi Reservoir Menggunakan Atribut Struktur 3D Di Lapangan 'D' Cekungan Sumatera Tengah*, Skripsi S-1 Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8] Satyana, A.H., 2003, *Re-Evaluation of The Sedimentology and Evolution of The Kais Carbonate Platform, Salawati Basin, Eastern Indonesia: Exploration Significance*, Proceeding IPA 27th Annual Convention (DVD Version).
- [9] Situmeang, M., 2012, *Karakteristik Reservoir Karbonat Menggunakan Inversi Sparse Spike Di Lapangan "Panda" Formasi Kais Cekungan Salawati, Papua*, Skripsi, Universitas Pembangunan Nasional.
- [10] Sukmono, S., dan Abdullah, A., 2002, *Karakterisasi Reservoir Seismik*, Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [11] Sukmono, S., 2007, *Fundamentals of Seismic Interpretation*, Geophysical Engineering, Bandung Institute of Technology, Bandung.
- [12] Sukmono, S., 2010, *Advance seismic methods for field exploration & developments*, Institute of technology bandung, Indonesia.

Different Weightings of Fuzzy Decision Analysis in Land Suitability Evaluation

Samsu Arif^{1*}, D. A. Suriamihardja^{1**}, Sumbangan Baja² dan Hazairin Zubair³

¹Department of Geophysics, Hasanuddin University, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

*E-mail: samsuarif@gmail.com, **E-mail: dahmaduh@gmail.com

²Department of Soil Science, Hasanuddin University, Makassar, South Sulawesi, Indonesia Center for Regional Development and Spatial Information (WITARIS), Hasanuddin University, Indonesia

E-mail: sbja02@yahoo.com.au

³Department of Soil Science, Hasanuddin University, Makassar, South Sulawesi, Indonesia

E-mail: hazairin.zubair@gmail.com

ABSTRAK

Model evaluasi lahan menggunakan metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) -*Fuzzy Set* dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan perangkat analitik yang handal. Integrasi data yang menjadi kriteria dalam evaluasi kesesuaian lahan memiliki kontribusi yang berbeda dalam menentukan nilai indeks kesesuaian lahan (IKL), sehingga perlu dilakukan pembobotan. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung IKL dengan metode MCDM menggunakan fuzzy set dan AHP dengan model pembobotan yang berbeda. Metode yang digunakan adalah, melakukan pengelompokan karakteristik lahan berdasarkan kemudahan dalam pengelolaan dan hubungan erat antar anggota. Pengelompokan pertama menghasilkan 4 kelompok, sedangkan pengelompokan kedua menghasilkan 3 kelompok (tanah, topografi, dan iklim). Pembobotan dilakukan terhadap kelompok pertama, terdiri dari 3 macam, yaitu: EQU (setiap kelompok diberi bobot sama), 2FD (kelompok lebih tinggi 2 kali dari bobot kelompok di bawahnya), 3FD (kelompok lebih tinggi 3 kali dari bobot kelompok di bawahnya). Setiap karakteristik lahan memiliki bobot individu dari hasil pembagian bobot kelompoknya, sehingga dengan memperkalikan antara bobot individu dengan nilai keanggotaan fuzzy karakteristik lahan dapat digabungkan menjadi nilai atribut keanggotaan kelompok (JMF). Perhitungan IKL dilakukan dengan memperkalikan JMF dari masing-masing kelompok. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa model pengelompokan dan pembobotan yang dibuat memberikan nilai IKL yang hampir sama untuk ketiga jenis pembobotan sehingga model ini dianggap sangat stabil. Hanya 19% wilayah yang mengalami perubahan akibat pembobotan yang berbeda dengan jarak perubahan IKL yang kecil.

Kata Kunci: *Fuzzy Set*, *Analytical Hierarchy Process*, Indeks Kesesuaian Lahan

I. PENDAHULUAN

Sumber daya pertanian dianggap salah satu sumber daya yang paling penting karena sangat dinamis dan terbarukan. Oleh karena itu, pertanian menjadi salah satu aspek yang paling populer dalam penerapan evaluasi lahan [4] [21] [24]. Evaluasi lahan adalah suatu proses memperkirakan potensi lahan untuk beberapa jenis penggunaan lahan alternatif [8]. Hasil akhir dari evaluasi lahan adalah suatu rancangan keputusan yang menggambarkan pembagian lahan menjadi kelas atau indeks kesesuaian lahan dari unit lahan untuk jenis penggunaan tertentu. Jadi kesesuaian lahan adalah kecocokan suatu jenis lahan untuk penggunaan tertentu [2]. Proses evaluasi kesesuaian lahan telah berubah melalui rentang waktu yang panjang dalam hal ruang lingkup dan tujuan; dari basis luas perencanaan penggunaan lahan untuk proyek-proyek pembangunan sampai pada pemecahan masalah pengembangan lahan, seperti pertanian, teknik, lingkungan dan sosial ekonomi [10] [12] [22]. Pendekatan sistem informasi geografis (SIG), dengan metode MCDM menggunakan

fuzzy set dan AHP dalam evaluasi kesesuaian lahan merupakan perangkat analitik yang handal dan akurasi yang lebih tinggi [15]. MCDM adalah alat yang tepat untuk memprediksi interaksi antara ilmu pengetahuan dan pemanfaatan lahan secara optimal [14]. Integrasi data dari berbagai sumber seperti tanah, topografi dan iklim dianggap sebagai kriteria dalam metode MCDM. Namun semua kriteria tidak sama pentingnya; setiap kriteria berkontribusi terhadap kesesuaian dengan besaran yang berbeda [11]. Kepentingan relatif dari parameter ini harus dievaluasi dengan baik untuk menentukan kesesuaian dengan metode MCDM (Prakash, 2003). Untuk menghasilkan nilai kriteria pada setiap unit evaluasi, setiap kriteria diberi bobot sesuai dengan signifikansi kesesuaian lahan untuk komoditi tertentu [11].

Dengan menggunakan AHP, bobot kriteria kemudian dihitung berdasarkan strategi perbandingan berpasangan. Bobot kriteria (λ_i) digunakan untuk menghitung fungsi keanggotaan bersama JMF(X) kelompok tanah, topografi dan iklim. Kemudian dihitung

berdasarkan tingkat kepentingan satu kelompok kriteria dibandingkan dengan yang lain [2]. Untuk menghitung indeks kesesuaian lahan (IKL) pada jenis komoditi yang dipilih, fungsi perkalian digunakan untuk menghasilkan lapisan data baru, yaitu lapisan data IKL secara spasial dengan nilai-nilai yang kontinyu [2].

II. METODE

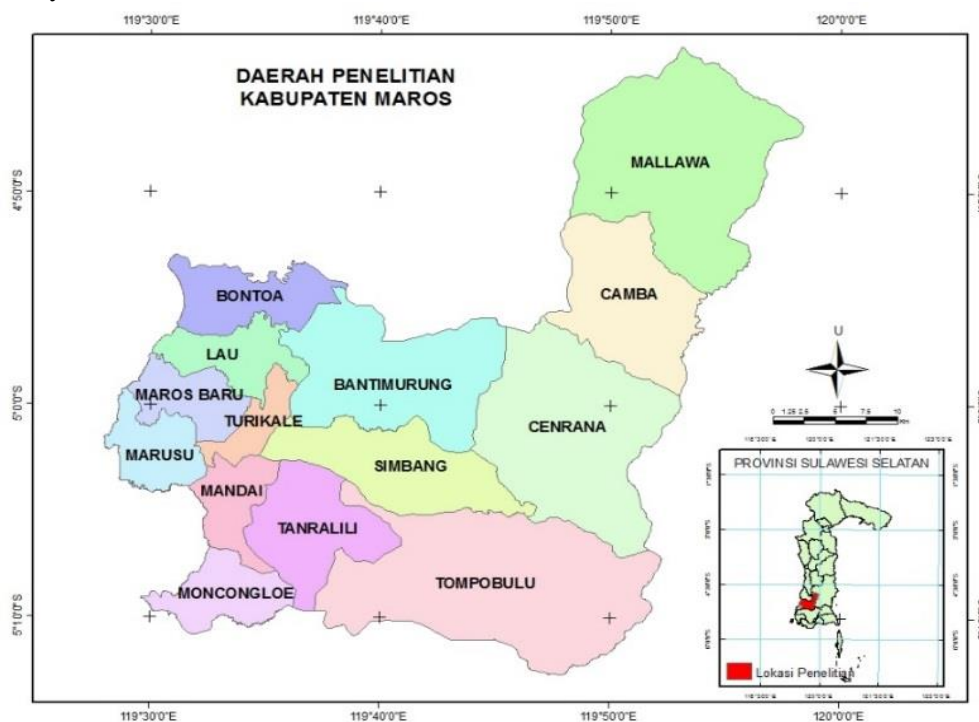
Wilayah Study

Penelitian dilakukan di Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis terletak pada $4^{\circ} 43' 7.8''$ sampai $5^{\circ} 12' 43.0''$ LS dan $119^{\circ} 27' 58.4''$ sampai $119^{\circ} 58' 21.3''$ BT. Luas wilayah 145.266 ha yang terdiri dari 14 kecamatan, yaitu: Mallawa, Camba, Cenrana,

Bantimurung, Simbang, Tompobulu, Tanralili, Moncongloe, Mandai, Turikale, Bontoa, Lau, Maros Baru, dan Marusu. Kabupaten Maros merupakan salah satu penghasil beras terbesar di Sulawesi Selatan. Variabilitas lahan cukup kompleks, terdiri dari pantai, dataran rendah, sampai dataran tinggi. Berbatasan dengan kota Makassar, sehingga tekanan penduduk yang mengakibatkan perubahan fungsi lahan lebih besar [1].

Data

Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil survey, citra tiga dimensi, dan data spasial dari instansi terkait. Daftar data yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 1. Lokasi wilayah studi

Tabel 1 Jenis, bentuk dan sumber data

No	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber
1	Data karakteristik tanah	Data tabular	Survey dan analisis laboratorium
2	Digital Peta Rupa Bumi	Vektor	Bakosurtanal
3	Citra SRTM resolusi 30x30 m ²	Raster	LAPAN Parepare
4	Peta Tanah Semi Detail	Lembaran	Jurusan Tanah Fak. Pertanian Unhas
5	Peta Landsystem skala 1:250.000 tahun 1989	Vektor	Bakosurtanal
6	Data Iklim Tahun 1979-2013	Data tabular	Global Weather
7	Peta RTRW Kab. Maros	Vektor	BAPPEDA Kab. Maros

Skema Pembobotan

Masalah utama dalam evaluasi lahan adalah menentukan faktor bobot terhadap kriteria yang dilibatkan dalam proses evaluasi. Prosedur AHP mengandalkan teknik pembobotan untuk menghasilkan faktor bobot. Faktor bobot ini menggambarkan ukuran relatif tentang pentingnya suatu elemen dibanding yang lainnya [23]. Skema pembobotan dalam penelitian ini mengacu pada kelompok pengelolaan karakteristik lahan.

Pengelompokan terhadap karakteristik lahan dilakukan dalam 2 langkah. Pertama, karakteristik lahan dibagi menjadi 4 kelompok berdasarkan kemudahan dalam pengelolaannya, yaitu: (i) KTK, pH, C Organik; (ii) drainase, bahaya banjir, batuan permukaan, bahaya erosi; (iii) kedalaman efektif, salinitas, lereng, tekstur; (iv) curah hujan, temperatur, kelembaban. Kedua membagi 3 kelompok berdasarkan hubungan yang erat antar anggotanya, yaitu: (i) tanah, (ii) topografi, dan (iii) iklim. Pemberian bobot yang berbeda dilakukan terhadap pengelompokan pada langkah pertama dan selanjutnya menghitung bobot individu (λ_i) setiap parameter dengan membagi bobot kelompok dengan jumlah parameter. Pada langkah kedua, masing-masing kelompok dihitung nilai JMF(X) menggunakan persamaan (1). Hasil perhitungan JMF(x) dari seluruh kelompok digunakan menghitung IKL berdasarkan persamaan (2).

Model pembobotan dilakukan dengan 3 cara, yaitu: EQU, 2FD, 3FD. Pembobotan dihitung menggunakan AHP berdasarkan strategi berpasangan. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bobot kriteria

Kelompok kemudahan pengelolaan (KP)	Bobot kriteria		
	EQU	2FD	3FD
Kelompok I	0.25	0.06667	0.025
Kelompok II	0.25	0.13333	0.075
Kelompok III	0.25	0.26667	0.225
Kelompok IV	0.25	0.53334	0.675
Total	1.00	1.000005	1.000

Dari hasil pembobotan dilakukan penggabungan nilai atribut lahan menggunakan fungsi kombinasi (Baja, 2012):

$$JMF(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i MF(x_i) \quad (1)$$

Dimana: JMF dihitung berdasarkan kelompok yang saling berkompensasi, yaitu: JMF_S untuk

kelompok tanah, JMF_T untuk topografi, JMF_C untuk iklim.

Selanjutnya IKL dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$IKL = JMF_S \times JMF_T \times JMF_C \quad (2)$$

Standarisasi Nilai Karakteristik Lahan menggunakan fungsi keanggotaan Fuzzy

Pendekatan fuzzy set adalah pendekatan standarisasi lebih realistis karena menggunakan satu set keanggotaan fuzzy merupakan hubungan tertentu antara kriteria dan hasil yang mungkin [16][25]. Evaluasi kesesuaian lahan menggunakan metode fuzzy dapat dilakukan dengan 3 model yang berbeda, yaitu: model kesamaan hubungan atau *Similarity Relation Model* (SRM), model impor semantik atau *Semantic Import Model* (SIM), dan model eksperimental (EXM) [2]. Dalam penelitian ini digunakan model impor semantik, yaitu model yang menggunakan fungsi keanggotaan yang ditentukan sebelumnya untuk klasifikasi variabel individu yang dipertimbangkan, sehingga relatif mudah digunakan [5].

Dengan pendekatan SIM, standarisasi nilai atribut karakteristik lahan dihitung menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy [3] [6] [7] [9]:

$$MF(x_i) = 1 \text{ jika } (b_1 + d_1) \leq x_i \leq (b_2 - d_2) \quad (3)$$

$$MF(x_i) = [1 / (1 + \{(x_i - b_1 - d_1) / d_1\}^2)] \text{ jika } x_i < (b_1 + d_1) \quad (4)$$

$$MF(x_i) = [1 / (1 + \{(x_i - b_2 + d_2) / d_2\}^2)] \text{ jika } x_i > (b_2 - d_2) \quad (5)$$

dimana: MF(x_i) = Nilai keanggotaan parameter x ,
 x_i = nilai atribut parameter ke i

Persamaan (3) digunakan untuk menghitung fungsi keanggotaan karakteristik lahan yang memiliki titik ideal dari ip_1 sampai ip_2 (model 1). Persamaan (4) untuk karakteristik lahan dengan batas kelas bawah mulai dari 0 sampai ip_1 (model 2). Sedangkan persamaan (5) untuk karakteristik lahan dengan batas kelas atas mulai dari ip_2 (model 3). Nilai b (b_1 dan b_2) dihitung berdasarkan nilai ambang batas yang tepat, sedangkan nilai d (d_1 dan d_2) diperoleh dari hasil pengurangan antara ip dengan b , $d_1 = ip_1 - b_1$, dan $d_2 = b_2 - ip_2$.

Jika evaluasi kesesuaian lahan menggunakan kriteria FAO, maka nilai ip_1 dan ip_2 adalah interval nilai karakteristik lahan kelas kesesuaian S1 pada komoditi yang dievaluasi, sedangkan

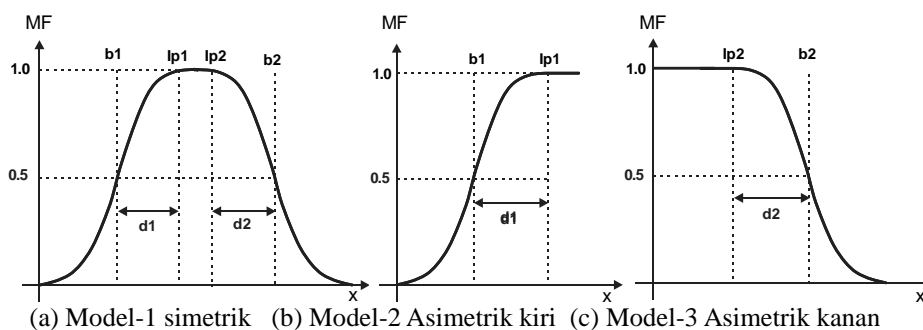
nilai b_1 dan b_2 merupakan titik tengah interval nilai karakteristik lahan kelas kesesuaian S3.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Faktor Pembobotan

Tujuan dari pembobotan kriteria adalah untuk mengekspresikan pentingnya setiap kriteria relatif terhadap kriteria lain. Kriteria yang lebih penting akan memiliki bobot lebih besar dalam evaluasi lahan. Dengan menggunakan model pengelompokan dan pembobotan seperti ditunjukkan table 2, akan diperoleh nilai pembobotan untuk semua kriteria seperti ditunjukkan pada table 3.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa pembagian kelompok menjadi penentu nilai pembobotan yang dimiliki oleh setiap karakteristik. Sedangkan pengelompokan berdasarkan hubungan antara karakteristik diperlukan untuk mengklasifikasi jenis parameter yang saling berkompensasi dan yang tidak berkompensasi. Hubungan ini berujung pada perhitungan JMF dan IKL. Meskipun kemiringan lereng mempengaruhi karakteristik lainnya seperti: bahaya erosi, genangan, drainase; akan tetapi dikelompokkan tersendiri karena kemiringan lereng tidak dapat dikompensasi oleh karakteristik kelompok tanah lainnya.



(a) Model-1 simetrik (b) Model-2 Asimetrik kiri (c) Model-3 Asimetrik kanan
Gambar 3. Kurva Model S dalam teori Fuzzy Set (Adaptasi dari [3] [1])

Tabel 3 Pembagian kelompok dan pembobotan 3FD

No	Karakteristik	Kelompok kemudahan pengelolaan (KP)	Kelompok hubungan erat antar anggota (KH)	Bobot kelompok	Bobot Individu
1	KTK	I	1	0.025	0.0083
2	pH				0.0083
3	C organik				0.0083
4	Drainase				0.0188
5	Genangan	II		0.075	0.0188
6	Batuan permukaan				0.0188
7	Bahaya erosi				0.0188
8	Kedalaman efektif				0.0563
9	Salinitas	III		0.225	0.0563
10	Tekstur				0.0563
11	Kemiringan lereng				0.0563
12	Curah hujan				0.2250
13	Temperatur	IV	3	0.675	0.2250
14	Kelembaban				0.2250

Hasil Perhitungan IKL dengan 3 model pembobotan

Sebelum menstandarisasi nilai karakteristik lahan menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy, diambil 3 jenis sebagai contoh (kedalaman

tanah, kemiringan lereng, dan curah hujan) dalam menghitung nilai indeks parameter optimal.

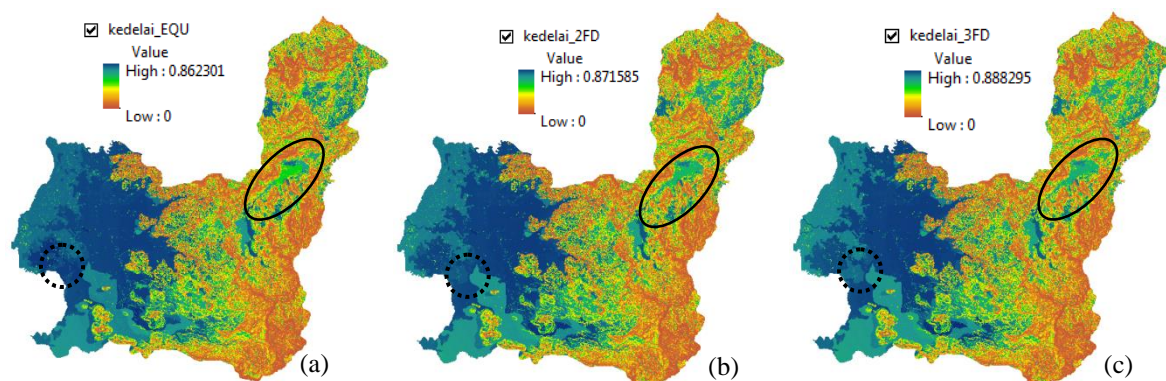
Tabel 4 Perhitungan indeks karakteristik lahan pada nilai optimal S1 (FAO) menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy untuk tanaman Kedelai. Pada nilai karakteristik lahan optimal

diperoleh indeks parameter (MF) sama dengan 1.0, sehingga: $JMF_x = \text{bobot} \times MF_x = \text{bobot} \times 1.0 = \text{bobot}$, atau $JMF = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ pada masing-masing kelompok (tanah, topografi dan iklim). Berdasarkan tabel 3 diperoleh: $JMFO_S = 0.269$, $JMFO_T = 0.0563$, dan $JMFO_C = 0.675$. Dengan menggunakan persamaan (2), maka IKL optimal diperoleh $IKLO = JMFO_S \times JMFO_T \times JMFO_C = 0.269 \times 0.0563 \times 0.675 = 0.010223$. Nilai IKLO yang diperoleh jauh lebih kecil dibandingkan nilai indeks karakteristik lahan, sehingga perlu di konversi agar proporsional dengan variabel yang membangunnya. Idealnya jika seluruh indeks parameter optimal (1.0), maka nilai IKL juga optimal (1.0). Faktor koreksi IKL untuk tanaman kedelai pada daerah penelitian dapat dihitung menggunakan persamaan (6), yaitu: $FK = 1/IKLO = 1/0.010223 = 97.82$. Dengan memperkalikan seluruh IKL terhitung dengan faktor koreksi 97.82, akan diperoleh IKL yang proporsional dengan variabel asalnya ($IKL^* = 97.82 \times IKL$). Untuk model pembobotan berbeda maka faktor koreksi yang terhitung juga akan berbeda.

Penerapan 3 model pembobotan dalam menghitung IKL menghasilkan sebaran indeks kesesuaian lahan yang hampir sama. Ini menunjukkan bahwa model pengelompokan dan pembobotan yang dilakukan memberikan hasil IKL yang cukup stabil. Gambar 2 menunjukkan terdapat lokasi pada daerah dataran rendah (lingkaran putus-putus) terjadi perubahan nilai IKL. Pada daerah dataran tinggi juga terdapat lokasi dengan IKL yang berubah (lingkaran solid). Perubahan IKL yang terjadi akibat nilai pembobotan yang berbeda dapat diamati dari tabel 5 kinerja indeks karakteristik lahan. Pada daerah pantai faktor pembatasnya adalah tekstur dan genangan, sedangkan pada daerah dataran tinggi faktor pembatasnya adalah KTK, genangan, dan C Organik. Pada IKL yang bernilai rendah, tekstur, genangan, KTK dan C organik merupakan satu kelompok yang berhubungan, yaitu kelompok tanah. Model yang dibangun menjadikan karakteristik tersebut saling berkompensasi, sehingga kekurangan masing-masing dapat saling menutupi.

Tabel 4. Perhitungan indeks karakteristik lahan pada nilai optimal S1 (FAO) menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy untuk tanaman Kedelai

Karakteristik Lahan	Nilai optimal (FAO)	Fungsi keanggotaan fuzzy	Variabel fuzzy	Indeks parameter (MF)	JMF_x
Kedalaman tanah	> 75 (cm)	Persamaan (4)	b1=35, d1=40	1.0	0.0563
Kemiringan lereng	< 8 (%)	Persamaan (5)	b2=23, d2=15	1.0	0.0563
Curah hujan	350 – 1.100 (mm/thn)	Persamaan (3,4, dan 5)	b1=215, b2=1750, d1=135, d2=650	1.0	0.2250



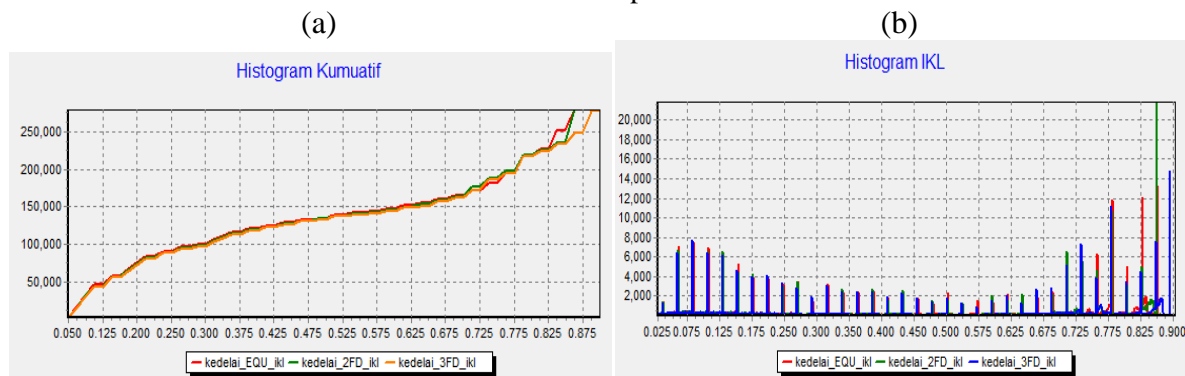
Gambar 2. Perbandingan hasil IKL dengan pembobotan: (a) EQU, (b) 2FD dan (c) 3FD

Tabel 5. Kinerja indeks karakteristik lahan

No	Karakteristik lahan	Dataran rendah	Dataran tinggi
1	KTK	1	0.004
2	pH	1	1
3	C organik	1	0.1
4	Drainase	1	0.692
5	Genangan	0.1	0.2
6	Batuan permukaan	1	1
7	Bahaya erosi	1	1
8	Kedalaman efektif	0.917	1
9	Salinitas	1	1
10	Tekstur	0.5	0.5
11	Kemiringan lereng	1	0.821
12	Curah hujan	0.981	1
13	Temperatur	0.913	1
14	Kelembaban	1	0.593

Kestabilan model yang digunakan semakin jelas terlihat pada gambar 4. Indeks kesesuaian lahan di bawah nilai 0.825 memiliki pola yang hampir sama (gambar 4.a). Di atas 0.825 terlihat bahwa pembobotan model 3FD memiliki nilai IKL tertinggi dengan jumlah piksel di atas 14.000, kemudian disusul oleh model 2FD dan EQU (gambar 4.b). Histogram

kumulatif (gambar 4.a) menunjukkan bahwa wilayah dengan IKL di bawah 0.825 sekitar 225.000 piksel dari total 275.000 piksel. Jika dipersentasikan jumlah piksel yang tidak mengalami perubahan akibat perubahan nilai pembobotan, maka diperoleh sebesar $(225.000/275.000) \times 100\% = 81\%$, hanya ada 19% yang sensitif terhadap perubahan nilai pembobotan.



Gambar 4. (a) Histogram kumulatif dan (b) Histogram IKL

IV. KESIMPULAN

Metode evaluasi lahan dengan pendekatan parametrik kuantitatif menggunakan *Multi Criteria Decision Making – Fuzzy set* dan *AHP* telah menghasilkan suatu model evaluasi yang handal. Model dibangun berdasarkan pengelompokan kemudahan pengelolaan dan kesamaan sifat karakteristik lahan memberikan hasil kinerja yang stabil. Wilayah dengan indeks karakteristik relatif rendah tidak terpengaruh dengan perubahan nilai pembobotan. Meskipun terdapat lokasi yang berubah akibat pemberian bobot yang berbeda, namun perubahan yang terjadi tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan

karena karakteristik lahan yang berpengaruh terhadap perubahan tersebut berada dalam satu kelompok kesamaan sifat sehingga dapat saling berkompensasi. Dengan demikian model ini cukup konsisten dan terpercaya untuk digunakan dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan terhadap penggunaan lahan di kabupaten Maros.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada kepada Pascasarjana Universitas Hasanuddin, DP2M DIKTI (melalui penelitian besar HIBAH KOMPETENSI), Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan melalui

Dinas Tata Ruang dan Permukiman Provinsi Sulawesi Selatan (melalui kerjasama pengembangan SIMTARU), Pusat Pengembangan Regional dan Informasi Spasial(WITARIS), Universitas Hasanuddin, dalam menyediakan data, dana, dan fasilitas lain yang mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Arif, S., Suriamihardja, D. A., Baja, S., Zubair, H. (2015). A Spatial Decision Support System of Land Management in Maros, *The Journal of Information Engineering and Applications, IISTE*, Vol.5, No.7: 45-51.
- [2] Baja, S. (2012). *Metode Analitik Evaluasi Sumber Daya Lahan - Aplikasi GIS, Fuzzy Set, dan MCDM*. Makassar: Identitas Universitas Hasanuddin.
- [3] Baja, S., D. M. Chapman, and D. Dragovich. (2002). A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modelling approach in GIS environment. *Environmental Management*, 29: 647-661.
- [4] Baniya, N, *Land Suitability Evaluation Using GIS for Vegetable Crops in Kathmandu Vally/Nepal*, University of Berlin, (2008).
- [5] Burrough, P.A. (1989). Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, 40(3): 477- 492.
- [6] Burrough, P.A., MacMillan, R. A. and Deursen, W. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. *Journal of Soil Science*, 43: 193-210.
- [7] Davidson, D. A., Theocharopoulos, S. P. and Bloksma, R. J. (1994). A land evaluation project in Greece using GIS and based on boolean and fuzzy set methodologies, *International Journal of Geographic Information Systems*, 8: 369-384.
- [8] Dent, D., and Young, A., (1981). *Soil Survey and Land Evaluation*. George Allen & Unwin, Boston.
- [9] Elaalem, M. (2010). The Application of Land Evaluation Techniques in Jeffara Plain in Libya using Fuzzy Methods. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Leicester
- [10] Elsheikh, A. R., Ahmad, N., Shariff, A., Balasundra, S., & Yahaya, S. (2010). An agricultural investment map based on geographic information system and multi-criteria method. *Journal of Applied Science*, 10, 1596–1602.
- [11] Elsheikh, A. R., Rashid, A. B., Shariff, A., Patel, N., (2015). Mango suitability evaluation based on GIS, multi criteria weights and sensitivity analysis. *International Journal of Advanced Computer Research*. ISSN (Print): 2249-7277 ISSN (Online): 2277-7970 Volume-5.
- [12] FAO, (2007). "Land evaluation towards a revised framework", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- [13] Ghadikolaei, A. S., Esbouei, S.K., Antucheviciene, J. (2014). Applying fuzzy MCDM for financial performance evaluation of Iranian companies, *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 20, no. 2, pp. 274–291.
- [14] Haghyghy, M., Ghamgosar, M., Sheykhi, R. (2015). Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) & Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach for Evaluating Tourism based on GIS. *World appl. programming*, Vol(5), No (8), August, 2015. pp. 113-119.
- [15] Hamzeh, S., Mokarram, M., Alavipanah, S. K. (2014). Combination of Fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: Case Study of semi arid lands in the southwest of Iran. *Desert* 19-2 (2014) 173-181.
- [16] Lai, T. (2011). Modelling spatial dynamics of landslides: integration of GIS-based cellular automata and multicriteria evaluation methods. M.Sc. Thesis, Department of Geography, Simon Fraser University.
- [17] Maddahi, Z., Jalalian, A., Zarkesh, M. k., Honarjo, N. (2014) Land suitability analysis for rice cultivation using multi criteria evaluation approach and GIS. *European Journal of Experimental Biology*, 2014, 4(3):639-648.
- [18] Mardani, A, Jusoh, A & Zavadskas, EK 2015, Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications - Two decades review from 1994 to 2014' *Expert Systems with Applications*, vol 42, no. 8, pp. 4126-4148.
- [19] Mendas, A. (2015). Decision Support System Based On GIS and MCDM to Identify Land Suitability for Agriculture. *World Academy of Science, Engineering and Technology Geological and Environmental Engineering* Vol:2, No:5.

-
- [20] Meng, Y., Malczewski, J. (2015). A GIS-based multicriteria decision making approach for evaluating accessibility to public parks in Calgary, Alberta. *Human Geographies – Journal of Studies and Research in Human Geography* Vol. 9, No. 1
- [21] Nuwategeka, E., Ayine, R., & Ofoyuru, D. T. (2013). Land Suitability Evaluation for Tea and Food Crops in Kabarole District, Western Uganda. *Greener, Journal of Agricultural Sciences*, 3. 5, 355-362.
- [22] Nwer, B. A. B. (2006). "The Application of Land Evaluation Technique in the North-East of Libya", Cranfield University, Silsoe.
- [23] Saaty, T. (1990). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process Planning Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.
- [24] Safari, Y., Esfandiarpour-Boroujeni, I., Kamali, A., Salehi, M. H., & Bagheri-Bodaghabadi, M. (2013). Qualitative Land Suitability Evaluation for Main Irrigated Crops in the Shahrekord Plain, Iran: A Geostatistical Approach Compared with Conventional Method. *Pedosphere*, 23. 6, 767-778.
- [25] Wood, L.J., Dragicevic, S. (2007). GIS-based multicriteria evaluation and fuzzy sets to identify priority sites for marine protection. *Biodiversity Conservation* 16(9): 2539–2558.

Identifikasi Lapisan Akuifer Di Daerah Mawang Kecamatan Baruga Kabupaten Bantaeng Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Makhrani * dan Sabrianto Aswad

Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin

*E-mail : rani_anshar@yahoo.co.id

ABSTRAK

Keberadaan sumber air sangat dibutuhkan untuk menunjang keberlangsungan dan kelancaran kegiatan di gardu pembangkit listrik tenaga gas yang rencana akan dibangun di Kabupaten Bantaeng. Untuk itu perlu adanya survei geolistrik tahanan jenis untuk mengidentifikasi lapisan penyimpan air (akuifer) di daerah tersebut. Metoda geolistrik tahanan jenis sering digunakan untuk eksplorasi air tanah karena sifat kelistrikan batuan (lapisan bumi) sangat dipengaruhi oleh keberadaan air tanah yang terkandung didalamnya. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi schlumberger dengan panjang bentangan arus ($AB/2$) sejauh 300 meter dengan orientasi bentangan 175^0 dari utara (NE). Hasil interpretasi menunjukkan lima lapisan berdasarkan nilai resistivitas. Lapisan akuifer diperkirakan berada pada lapisan 2 dengan nilai resistivitas $4.34 - 13.7 \Omega m$ pada kedalaman $4.1 - 18.3 m$ dan lapisan 4 dengan nilai resistivitas $77.2 \Omega m$ pada kedalaman $42.2 - 66.8$ meter. Lapisan 2 diduga didominasi oleh lava bercampur dengan tufa, breksi dan konglomerat, sedang lapisan 4 diduga didominasi oleh tufa kasar bercampur dengan tufa halus dan breksi vulkanik. Lapisan 2 diperkirakan merupakan akuifer air permukaan yang debitnya sangat tergantung oleh musim sedangkan lapisan 4 merupakan lapisan akuifer bawah permukaan yang tidak tergantung pada musim dan merupakan air bawah tanah.

Kata Kunci : Akuifer, Resistifitas, Tahanan Jenis.

I. PENDAHULUAN

Air yang digunakan sehari-hari telah melalui siklus hidrologi, yaitu proses penguapan dari laut, danau, maupun sungai kemudian mengalami kondensasi di atmosfer, dan selanjutnya menjadi hujan yang turun ke permukaan bumi. Air hujan yang turun ke permukaan bumi tersebut ada yang langsung mengalir dipermukaan bumi dan ada yang meresap kebawah permukaan bumi. Sementara itu, air yang meresap kebawah permukaan bumi melalui dua sistem, yaitu sistem air tidak jenuh dan sistem air jenuh [1,2].

Adanya rencana pembangunan Gardu Listrik untuk pembangkit listrik tenaga gas di daerah sekitar Mawang, Kecamatan Baruga, Kabupaten Bantaeng menyebabkan perlu adanya survei geolistrik tahanan jenis untuk mengidentifikasi lapisan penyimpan air (akuifer) di daerah tersebut. Hal ini berguna untuk menyediakan sumber air guna berbagai kebutuhan untuk keberlangsungan dan kelancaran kegiatan di gardu listrik tersebut. Jenis konfigurasi yang digunakan dalam survei ini adalah konfigurasi schlumberger.

Metoda geolistrik tahanan jenis sering digunakan untuk eksplorasi air tanah karena sifat kelistrikan batuan (lapisan bumi) sangat dipengaruhi oleh

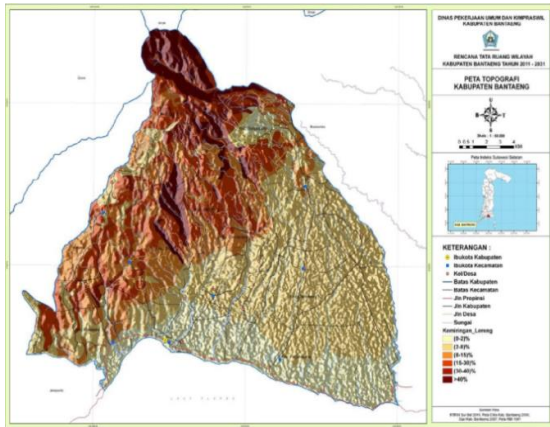
keberadaan air tanah yang terkandung didalamnya. Sifat kelistrikan batuan yang relatif resistif akan berubah relatif konduktif jika tersaturasi air. Hal ini cukup bermanfaat dalam memprediksikan keberadaan lapisan bumi yang tersaturasi air (akuifer) [3-6].

Berdasarkan Peta Geologi regional yang diterbitkan oleh Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi, lokasi rencana pembangunan gardu listrik termasuk dalam lembar Ujungpandang, bantaeng dan Sinjai, uraian mengenai kondisi geologi lokasi dan berdasarkan peta topografi, peta jenis tanah dan peta tutupan lahan yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Kimpraswil Kabupaten bantaeng dalam rencana tata ruang wilayah Kabupaten Bantaeng tahun 2011-2031[7], dapat diuraikan sebagai berikut:

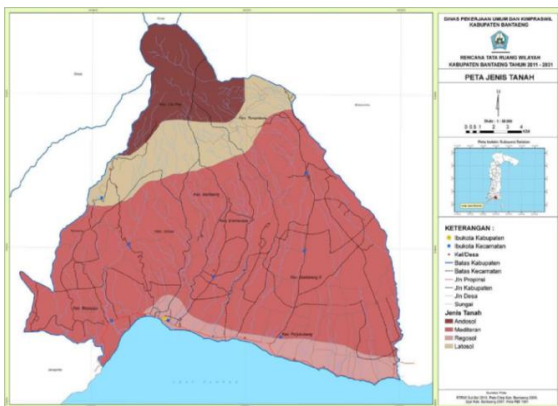
Geomorfologi

Lokasi titik pengukuran berada dalam wilayah dengan kemiringan lahan berkisar $2 - 8^0$ dengan topografi yang relatif landai hingga berbukit-bukit (gambar 1). Dari peta tanah (gambar 2) terlihat jenis tanah pada daerah pengukuran termasuk golongan mediteran dengan proses geologi permukaan yang sedang berlangsung berupa proses denudasional yaitu proses pelapukan pada batuan baik secara fisika, kimia

dan biologi yang kemudian tertransportasi membentuk endapan talus yang tersebar pada keseluruhan wilayah studi, selain proses denudasional proses lainnya berupa erosi dalam tingkat *gully* yaitu bentukan cekungan seperti sungai yang terbentuk akibat adanya erosi vertikal yang kuat pada lereng bukit.



Gambar 1. Peta topografi Kabupaten Bantaeng



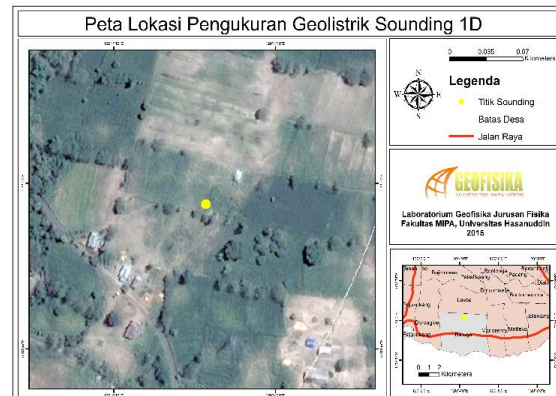
Gambar 2. Peta jenis tanah Kabupaten Bantaeng

Sungai- sungai pada lokasi studi tergolong sungai periodik yaitu sungai yang debit alirannya terkontrol oleh adanya sumber eksternal berupa air hujan dan bukan berasal dari adanya mata air. Dari peta tutupan lahan menunjukkan didominasi oleh pertanian lahan kering campuran dan sawah tadah hujan

Dari peta geologi regional tidak ada struktur geologi signifikan, misalnya sesar pada daerah kajian. Hal ini berimplikasi pada pola sebaran akuifer pada daerah tersebut yang hanya tergantung pada proses sedimentasi yang terjadi (perlapisan).

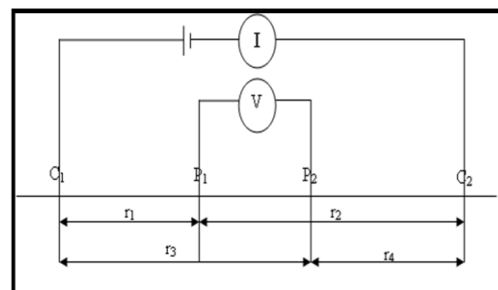
II. BAHAN DAN METODA

Pengukuran dilakukan secara langsung dilapangan dengan menggunakan metode resistivitas konfigurasi schlumberger. Lokasi survei geolistrik tahanan jenis secara administrasi berada pada daerah Baruga, Kecamatan Bissapu, Kabupaten Bantaeng. Titik pengukuran ini berada di dalam lokasi pembangunan Gardu Listrik dengan koordinat $120^{\circ}4'12,849''$ Bujur timur dan $5^{\circ}3'22,66''$ - $5^{\circ}33'50,632''$ Lintang selatan (gambar 3).



Gambar 3. Titik lokasi pengukuran

Dalam melakukan eksplorasi tahanan jenis (resistivitas) diperlukan pengetahuan mengenai perbandingan posisi. titik pengamatan terhadap sumber arus. Perbedaan letak titik tersebut akan mempengaruhi besar medan listrik yang akan diukur. Metoda yang biasa digunakan pada pengukuran resistivitas secara umum yaitu dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dengan menggunakan dua elektroda arus (C_1 dan C_2), dan pengukuran beda potensial dengan menggunakan dua elektroda potensial (P_1 dan P_2) seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Bentuk Susunan Elektroda nada dengan :

r_1 = jarak dari titik P_1 ke sumber arus positif C_1
 r_2 = jarak dari titik P_1 ke sumber arus negatif C_2
 r_3 = jarak dari titik P_2 ke sumber arus positif C_1
 r_4 = jarak dari titik P_2 ke sumber arus negatif C_2

Besaran koreksi terhadap perbedaan letak titik pengamatan dinamakan faktor geometri. Faktor geometri dari beda potensial yang terjadi antara elektroda potensial P_1 , P_2 yang diakibatkan oleh injeksi arus pada elektroda arus C_1 , C_2 adalah :

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2} \quad (1)$$

$$= \left[\left\{ \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right\} - \left\{ \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \right] \quad (2)$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right\} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{2\pi}{\left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right\}} \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

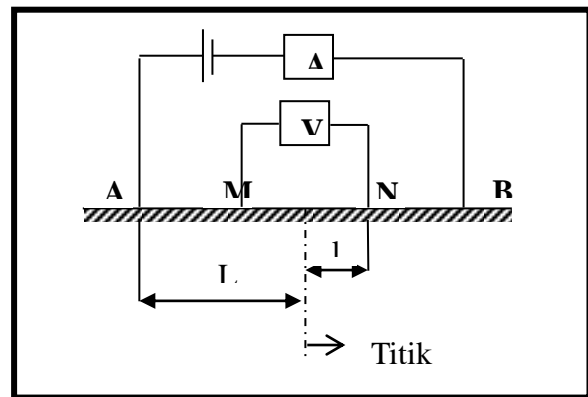
Dari besarnya arus dan beda potensial yang terukur maka nilai resistivitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\rho_a = K \left(\frac{V}{I} \right) \quad (5)$$

Dimana K adalah faktor geometri yang tergantung oleh penempatan elektroda di permukaan. Arus listrik lebih mudah mengalir melalui bahan yang konduktivitasnya lebih tinggi dan resistivitasnya lebih rendah. Listrik lebih banyak dihantarkan oleh ion-ion dari fluida yang terdapat dalam pori-pori, rekahan dan retakan serta sepanjang batas butiran. Oleh karena itu faktor utama penentu resistivitas batuan adalah porositas terhubung, permeabilitas, saturasi fluida dan resistivitas fluida [3].

Pada metoda geolistrik tahanan jenis, arus listrik dialirkan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus. Kemudian, besarnya potensial yang timbul diukur di permukaan bumi melalui dua buah elektroda potensial. Besarnya beda potensial diantara kedua elektroda potensial tersebut selain bergantung pada besarnya arus yang dialirkan ke dalam bumi, juga bergantung pada letak kedua elektroda potensial tersebut terhadap letak kedua elektroda arus yang dipakai [8].

Ada berbagai macam aturan yang dipakai untuk menempatkan keempat elektroda tersebut, dalam istilah geofisika sering dinamai sebagai konfigurasi elektroda [8,9]. Dalam penelitian ini menggunakan konfigurasi Schlumberger. Konfigurasi ini juga dapat digunakan untuk *resistivity mapping* maupun *resistivity sounding*. Cara pelaksanaan pengukuran untuk *resistivity mapping* jarak spasi elektroda dibuat tetap untuk masing-masing titik amat (titik *sounding*). Sedang untuk *resistivity sounding*, jarak spasi elektroda diubah-ubah secara gradien untuk titik amat. Untuk aturan elektroda Schlumberger, spasi elektroda arus jauh lebih lebar dari spasi elektroda potensial seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Susunan elektroda metoda Schlumberger

Dari persamaan (4) untuk metode schlumberger dengan :

- r_1 = jarak dari titik M ke sumber arus positif A; $(L - l)$
- r_2 = jarak dari titik M ke sumber arus negatif B; $(L + l)$
- r_3 = jarak dari titik A ke sumber arus positif N; $(L + l)$
- r_4 = jarak dari titik N ke sumber arus negatif B; $(L - l)$

Hal ini menghasilkan faktor geometri K dan resistivitas semu untuk metoda Schlumberger adalah:

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \quad (6)$$

$$\rho_{as} = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

Pada penyelidikan ini sounding menggunakan konfigurasi Schlumberger dengan panjang bentangan arus $(AB/2)$ sejauh 300 meter dengan

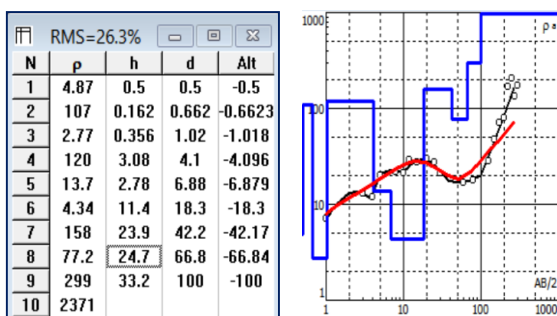
orientasi bentangan 175^0 dari utara (NE). Dengan panjang bentangan arus ini diharapkan penetrasi mencapai 100 meter di bawah permukaan tanah. Adapun prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Menentukan posisi atau lokasi penelitian dengan menggunakan GPS (Global Position Satelit)
- Menentukan dan menempatkan titik sounding
- Menentukan arah bentangan dengan menggunakan kompas bidik.
- Menentukan posisi atau lokasi penelitian dengan menggunakan GPS (Global Position Satelit)
- Membuat bentangan elektroda arus potensial dan mengatur posisi elektroda arus dan elektroda potensial
- Menentukan jarak lintasan AB/2 dan MN/2
- Menginjeksikan arus dan membaca potensial pada jarak elektroda yang telah ditentukan
- Data yang diperoleh dari pengukuran berupa harga besar arus (I) dan beda potensial (ΔV) titik pengukuran.
- Harga resistivitas semu dihitung dari faktor konfigurasi pengukuran dan perbandingan harga beda potensial (ΔV) dan kuat arus (I) pengukuran

Selain metode di atas untuk interpretasi penentuan kedalaman dan nilai resistivitasnya menggunakan software IP2Win.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil pemodelan kedepan diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 6. Hasil pemodelan kedepan data lapangan

Hasil pemodelan kedepan diperoleh 5 (lima) lapisan berdasarkan rentang nilai resistivitas dan dihubungkan dengan interpretasi stratigrafi yang dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Lapisan 1 dengan interval nilai resistivitas 2.17 – 120 Ωm pada kedalaman 0 – 4,1 meter dari permukaan dengan ketebalan

lapisan 4,1 meter. Lapisan ini merupakan lapisan permukaan yang jenis tanahnya merupakan lapisan mediteran bercampur dengan batuan yang diduga konglomerat dan lava produk dari vulkanik

2. Lapisan 2 dengan interval nilai resistivitas 4.34 – 13.7 Ωm pada kedalaman 4.1 – 18,3 m dari permukaan dengan ketebalan lapisan 14,2 meter. Lapisan ini diduga di dominasi oleh lava bercampur dengan tufa, breksi dan konglomerat produk dari vulkanik
3. Lapisan 3 dengan nilai resistivitas 158 Ωm pada kedalaman 18,3 – 42,2 meter dari permukaan dengan ketebalan 23,9 meter. Lapisan ini sebagian besar merupakan lempung bercampur dengan tufa halus dan konglomerat produk dari vulkanik
4. Lapisan 4 dengan nilai resistivitas 77,2 Ωm pada kedalaman 42,2 – 66,8 meter dari permukaan dengan ketebalan 26,6 meter. Lapisan ini diduga didominasi oleh tufa kasar bercampur dengan tufa halus, dan breksi vulkanik
5. Lapisan 5 dengan nilai resistivitas lebih besar dari 299 Ωm pada kedalaman lebih dari 66,8 meter. Lapisan ini diduga terdiri atas batuan vulkanik basaltik

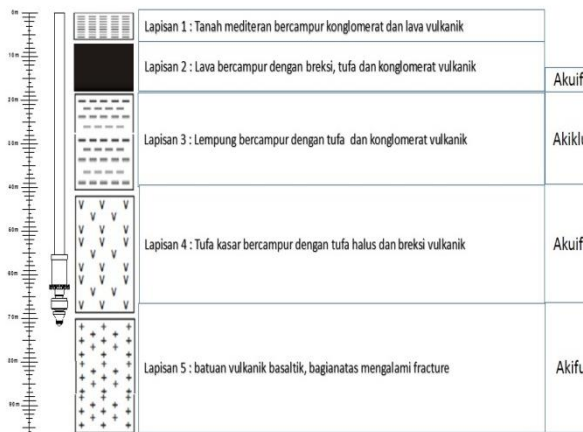
Kesalahan RMS dengan nilai 26,3 % menunjukkan nilai selisih data perhitungan dan kalkulasi yang relatif besar hal ini disebabkan tingginya nilai SP (self potensial) dan kondisi geologi pada daerah ini yang kompleks. Beda potensial dari pengukuran umumnya lebih kecil dibandingkan dengan nilai SP-nya. Nilai SP memberikan perbandingan signal terhadap bising (signal to noise/SNR) yang kecil tetapi SP juga memberikan indikator adanya deposit mineral atau kontaminasi dari air tanah (groundwater).

Berdasarkan peta geologi regional titik pengukuran berada di batuan gunung api Lompobattang yang terdiri atas konglomerat, lava, breksi, endapan lahar dan tufa. Informasi ini memberikan gambaran kemungkinan adanya potensi air tanah yang mungkin berasosiasi dengan batuan gunung api Lompobattang yaitu tufa atau batuan vulkanik yang telah mengalami rekahan (fracture).

Untuk identifikasi potensi air tanah digunakan nilai resistivas dengan interval 10 – 100 Ωm yang berkaitan dengan air tawar (fresh water). Dengan demikian dari perlapisan yang diperoleh dapat diidentifikasi lapisan akuifer pada lapisan

2 dan 4 dengan akuifernya adalah lapisan tufa yang memiliki porositas dan permeabilitas yang memungkinkan sebagai media penyimpanan dan mengalirkan air. Lapisan 2 diduga akuifer air permukaan yang debitnya sangat tergantung oleh musim sedangkan lapisan 4 diperkirakan merupakan lapisan akuifer bawah permukaan yang tidak tergantung pada musim dan merupakan air bawah tanah.

Berikut adalah hasil interpretasi geologinya yang menunjukkan keberadaan lapisan akuifer pada daerah penelitian.



Gambar 7. Hasil Interpretasi Stratigrafi Berdasarkan Nilai Resistifitasnya

IV. KESIMPULAN

Bersarkan hasil analisa dan interpretasi data dengan menggunakan data resistivitas beserta informasi geologi daerah pengukuran maka direkomendasikan untuk melakukan pengeboran dengan kedalam 70 meter dari permukaan dengan asumsi bahwa besarnya nilai SP mengindikasikan kemungkinan adanya aliran air bawah tanah atau proses mineralisasi yang terjadi pada daerah tersebut.

REFERENSI

- [1] Susilo, B.K., 2008, *Geologi Dinamik – Air Tanah*, [http : //www.lablink.or.id](http://www.lablink.or.id).
- [2] Soedarmono G. D & Purnomo S. J., 1997, *Mekanika Tanah* 1, Kanisius: Yogyakarta.
- [3] Kurniawan, R., 2004, *Eksplorasi Air Tanah menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis / Resistivity*, Universitas Hasanuddin : Makassar.
- [4] O. Anomohanran, Geoelectrical investigation of groundwatercondition in oleh, nigeria, 2013, IJRRAS 15 (1) , www.arpapress.com/Volumes/Vol15Issue1/IJRRAS_15_1_14.pdf
- [5] Zohdy, A. A. R., 1969. The use of Schlumberger and equatorial soundings in groundwater investigations near El Paso, Texas, *Geophysics*, 34, p. 713-728.
- [6] P. D. C. Mbonu, J. O. Ebeiro, C. O. Ofoegbu, and A. S. Ekine. Geoelectric sounding for the determination of aquifer characteristics in parts of the Umuahia area of Nigeria. 1991, P. 284-291 in *GEOPHYSICS*, Vol. 56, NO.2 .
- [7] Dinas Pekerjaan Umum dan Kimpraswil Kabupaten bantaeng, Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kabupaten Bantaeng, 2011-2031.
- [8] Hendrajaya, L. & Arif, I., 1990, *Metode Geolistrik Tahanan Jenis*, ITB : Bandung.
- [9] Telford, W. M., 1990, *Applied Geophysics, Second Edition*, Cambridge University Press : Cambridge.

Prediksi Permeabilitas Menggunakan Metode Regresi Untuk Manajemen Reservoir yang Efektif

Harjumi, Makhrani* dan Sabrianto Aswad

Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

*E-mail : rani_anshar@yahoo.co.id

ABSTRAK

Parameter permeabilitas dipercaya mewakili dalam pembuatan model simulasi untuk manajemen reservoir yang efektif. Parameter ini dapat diprediksi dengan suatu metode sederhana dari input data core dan data log. Namun untuk melakukan coring dalam aktivitas well logging memerlukan biaya yang besar dan memakan waktu yang lama sehingga tidak semua sumur memiliki data core. Oleh karena itu diperlukan suatu metode prediksi permeabilitas secara tidak langsung. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan prediksi permeabilitas yang paling mendekati dengan kondisi batuan yang sebenarnya dengan memanfaatkan hubungan antara permeabilitas dan porositas menggunakan metode yang sederhana. Metode yang digunakan adalah metode regresi linear dan nonlinear dengan input data core dan nilai porositas total. Kurva regresi yang dibandingkan meliputi regresi linear, logarithmic, exponential dan power. Dari kurva regresi setiap metode dihasilkan nilai R² masing-masing adalah logarithmic = 0.265, Exponential = 0.447, Linear = 0.356, Power = 0.393. Secara visual, kecocokan antara core permeability dan permeability menunjukkan exponential mempunyai paling banyak kecocokan dibandingkan dengan yang lainnya. Sehingga dapat disimpulkan, dalam penelitian ini metode regresi exponential adalah metode prediksi permeabilitas yang paling mendekati dengan kondisi batuan yang sebenarnya.

Kata Kunci: Exponential, Permeabilitas, Regresi, Well Logging

I. PENDAHULUAN

Penentuan kualitas reservoir pada suatu formasi batuan dipengaruhi oleh beberapa parameter fisik. Parameter ini terdiri dari porositas, permeabilitas, lingkungan pengendapan serta saturasi air yang dianalisa berdasarkan ilmu petrofisika. Dalam hal ini, permeabilitas merupakan satu faktor penting dalam penentuan model kualitas reservoir yang efektif.

Permeabilitas ditentukan dari data log dan data sampel inti batuan. Dalam aktivitas well logging tidak semua sumur memiliki data core dikarenakan terhambat oleh biaya yang besar dan memakan waktu yang lama. Untuk itu dilakukan suatu pendekatan metode geostatistik dalam memperkirakan sebaran nilai permeabilitas pada sumur yang tidak di coring dengan memanfaatkan hubungan antara permeabilitas dan porositas dengan metode regresi.

Sifat Fisik Batuan

Sifat-sifat batuan yang penting untuk analisis log adalah porositas, saturasi air dan permeabilitas. Dengan dua parameter pertama banyaknya hidrokarbon di lapisan formasi dapat dihitung, sedangkan dengan parameter yang terakhir, dapat ditunjukkan pada tingkat mana hidrokarbon dapat diproduksi [4]

- Porositas

Porositas ditandai dengan ϕ , adalah bagian dari volume total batuan yang berpori. Pada formasi-renggang(unconsolidated formation) besarnya porositas tergantung pada distribusi ukuran butiran, tidak pada ukuran butir mutlak.

- Permeabilitas

Permeabilitas yang ditandai dengan K, adalah kemampuan mengalir dari fluida formasi. Dinyatakan dalam milidarcies (md). Berbeda dengan porositas, permeabilitas sangat terantung pada ukuran butiran batuan.

Metode Regresi

Metode Regresi adalah salah satu metode statistik yang mempelajari pola hubungan (secara sistematis) antara dua variabel atau lebih memodelkan variabel respon Y dengan variabel predictor X. Metode regresi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis faktor – faktor yang mempengaruhi hasil proses produksi. Pada umumnya variabel dependen yang digunakan hanya satu dengan variabel predictor X yang lebih dari satu, apabila variabel Y yang digunakan lebih dari satu, maka metode analisis yang digunakan apabila antara variabel dependen terdapat korelasi yang besar [3].

Secara umum, metode regresi dibagi menjadi dua yaitu [5]:

1. Regresi Linier

Persamaan regresi linier dengan n variable bebas dapat dinyatakan dengan :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad i : 1, \dots, n$$

Dengan :

Y_i : nilai peubah terikat dari percobaan ke- i

β_1, \dots, β_k : koefisien regresi/slop

x_i : nilai peubah bebas dari percobaan ke- i

ε_i : error

2. Regresi Non Linier

Apabila hubungan antara variable independent dan variable dependent tidak linear, maka regresi dikatakan regresi non linear. Bentuk dari hubungan regresi non linear adalah :

$$Y_i = f(X_i, y + \varepsilon)$$

Dengan Y_i adalah fungsi respon non linear dari parameternya.

II. BAHAN DAN METODA

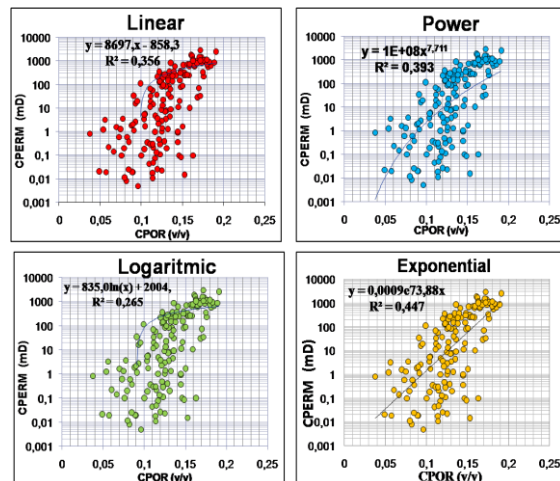
Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder pada lapangan "R". Data yang diolah berupa data core meliputi porositas core, permeabilitas core, porositas dari data log. Porositas serta permeabilitas core diolah menggunakan microsoft excel guna menghasilkan beberapa kurva regresi meliputi exponential, linear, logarithmic dan power. Dari keempat regresi ini akan dipilih satu kurva regresi dengan nilai korelasi tertinggi. Persamaan yang dihasilkan oleh regresi dengan korelasi paling tinggi selanjutnya akan digunakan untuk memprediksi permeabilitas log.

III. HASIL DAN DISKUSI

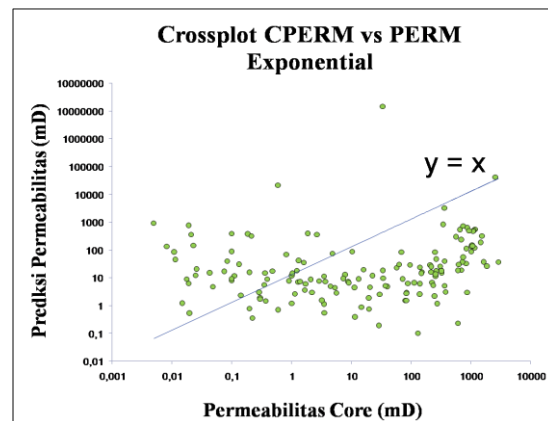
Gambar 1 menunjukkan empat hasil regresi (linear, power, logarithmic, exponential) porositas core vs permeabilitas core. Dari keempat regresi tersebut terlihat bahwa regresi exponential memiliki korelasi yang paling tinggi dengan nilai R^2 0,447, disusul power dengan 0,383, linear 0,356 dan logarithmic dengan nilai 0,256. Sebaran data core pada masing-masing regresi menunjukkan bahwa permeabilitas yang tinggi akan mempunyai porositas yang tinggi pula namun porositas yang tinggi belum tentu menunjukkan permeabilitas yang tinggi.

Gambar 2 menunjukkan hasil crossplot antara permeabilitas core dan prediksi permeabilitas

yang dihitung menggunakan persamaan exponential. Pada gambar tersebut terlihat bahwa diantara kedua permeabilitas sangat sedikit kecocokan yang terjadi. Hal ini ditunjukkan dari sedikitnya titik-titik permeabilitas yang melalui atau mendekati garis linear $y = x$. Kebanyakan dari prediksi permeabilitas yang dihitung menunjukkan 10 mD sepanjang nilai permeabilitas core.



Gambar 1. Kurva regresi (porositas core vs permeabilitas core) linear, power, logarithmic, exponential



Gambar 2. Crossplot antara permeabilitas core dan prediksi permeabilitas

IV. KESIMPULAN

Metode regresi exponential merupakan metode regresi dengan korelasi yang paling tinggi di lapangan "R" dengan kecocokan yang dihasilkan masih sangat kecil antara permeabilitas core dan permeabilitas log. Oleh karena itu perlu dilakukan metode yang lainnya untuk mendapatkan prediksi permeabilitas yang lebih cocok dengan data aktual (permeabilitas core).

REFERENSI

- [1] Abed, Adnan A. 2014. Hydraulic Flow Unit and Permeability Prediction in a Carbonate Reservoir, Southern Iraq from Well Log Data Using Non – Parametric Correlation. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology and Engineering*. Iraq
- [2] Amaefule, J.O. Altunbay, M. Tiab, D. Kersey, D.G. Keelan, D.K. 1993. Enhanced Reservoir Description : Using Core and Log Data to Identify Hydraulic(Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells. Society of Petroleum Engineers. OklahomaYunin, Qurrota. 2009. Quality Control Analysis and Process Capability of Nira at Purification and Evaporation. PT. PG Candi Baru. Sidoarjo.
- [3] Harsono A. 1997. Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log Edisi-8. Schlumberger Oilfield Services. Jakarta.
- [4] Yanti, I. 2014. *Pengujian Kesamaan Beberapa Model Regresi Non Linier Geometri*. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Resistivitas Batuan Kampus UNHAS Tamalanrea

Muhammad Hamzah Syahrudin*, Amiruddin, Sabrianto Aswad dan Syamsuddin

Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin

*Email: hamzah@fmipa.unhas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana sifat kelistrikan lapisan batuan di Kampus Unhas Tamalanrea menggunakan metoda geolistrik. Pengukuran geolistrik untuk menentukan resistivitas batuan di Kampus Unhas Tamalanrea menggunakan resistivitas sounding. Pengukuran dilakukan pada satu titik tetap (titik sounding) dengan spasi elektroda yang bervariasi. Data yang diperoleh adalah data arus listrik dan beda potensial untuk mendapatkan resistivitas semu. Data resistivitas semu adalah resistivitas yang diperoleh sebagai fungsi dari spasi elektroda. Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam pengukuran geolistrik di Kampus Unhas Tamalanrea adalah konfigurasi Schlumberger. Hasil pengukuran geolistrik vertikal sounding di Kampus Unhas Tamalanrea menunjukkan bahwa dari semua titik sounding resistivitas semu cenderung naik terhadap spasi elektroda arus. Kenaikan resistivitas semu terhadap spasi elektroda arus menunjukkan bahwa semakin dalam lapisan batuan maka resistivitas semu semakin tinggi. Nilai resistivitas semu lapisan batuan di Kampus Unhas Tamalanrea paling tinggi mencapai 20.000,00 Ω m. Sedangkan resistivitas semu di Kampus Unhas Tamalanrea yang relatif kecil adalah 135 Ω m.

Kata Kunci: batuan; resistivitas; sounding; Unhas.

I. PENDAHULUAN

Universitas Hasanuddin adalah perguruan tinggi negeri di Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. Kampus utama Unhas berada di Km.10 Tamalanrea Kota Makassar dan kampus yang lain berada di Gowa dan Baraya. Kampus Unhas Tamalanrea menempati areal seluas 220 hektar. Kampus ini banyak dikelilingi oleh rawa-rawa yang dipengaruhi oleh pasang-surut air laut melalui muara sungai Tallo. Oleh karena itu, Kampus Unhas Tamalanrea ini banyak dikelilingi genangan air asin dari sungai Tallo [1].

Kebutuhan air di Kampus Unhas Tamalanrea berasal dari PDAM Kota Makassar. Namun karena pasokan air dari PDAM tidak cukup maka beberapa fakultas membuat sumur bor untuk memenuhi kekurangan airnya. Data sementara yang ada, sumur bor di Kampus Unhas Tamalanrea tersebar di fakultas hukum dua sumur bor, di Fakultas teknik satu sumur bor, di fakultas kedokteran satu sumur bor, di pascasarjana satu sumur bor, dan di ruma sakit Wahidin. Selain itu terdapat beberapa sumur galian (sumur pantek) di dekat rumah sakit Wahidin dan di politeknik. Masyarakat yang tinggal di sekeliling Kampus dan pondokan-pondokan mahasiswa umumnya menggunakan sumur galian. Jadi daerah Kampus Unhas Tamalanrea menjadi penopang utama ketersediaan air dan kelestariannya dari semua sumur yang ada, baik sumur bor maupun sumur galian.

Dari penjelasan di atas menarik untuk diadakan kajian yang lebih mendalam bagaimana

melestarikan airtanah di Kampus Unhas Tamalanrea. Bagaimana struktur tanah dan kesuburan tanah di Kampus Unhas Tamalanrea. Bagaimana struktur geologi permukaan di Kampus Unhas Tamalanrea. Bagaimana resapan air di Kampus Unhas Tamalanrea. Bagaimana potensi akuifer airtanah di Kampus Unhas Tamalanrea. Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut tentu dibutuhkan keahlian dari berbagai disiplin ilmu seperti pertanian, kehutanan, hidrologi, geologi, dan geofisika.

Sebagai langkah awal dari penelitian ini, adalah bagaimana sifat kelistrikan lapisan batuan di Kampus Unhas Tamalanrea menggunakan metoda geolistrik. Metoda Geolistrik adalah salah satu metode eksplorasi geofisika yang menitikberatkan kepada medan potensial listrik di bawah permukaan. Medan listrik di bawah permukaan dapat terjadi dengan mengalirkan arus listrik. Semakin kuat arus listrik yang diberikan maka semakin kuat medan listrik yang ditimbulkan sehingga penetrasinya semakin dalam. Kuat medan listrik menyebabkan beda potensial listrik yang dapat diukur di permukaan bumi. Arus listrik dan beda potensial yang terukur dapat mendeteksi kemunculan anomali yang menunjukkan heterogenitas lapisan batuan di bawah permukaan.

Geolistrik memiliki spesifikasi yang khusus berdasarkan responnya, seperti tahanan jenis, *self potential* (SP), *induced potential* (IP), elektromagnetik, dan lain-lain. Pada pembahasan ini akan dikonsentrasikan kepada metode tahanan jenis (*resistivity*). Metode tahanan jenis dapat mengukur

tahanan jenis medium di dalam bumi dengan mengalirkan arus 100 mA, melalui elektroda arus (sepasang elektroda) dan responnya diterima dipermukaan berupa beda potensial (sepasang elektroda potensial). Metoda resistivitas listrik dipergunakan untuk menentukan variasi resistivitas dalam bumi secara lateral (mendatar) dan vertikal.

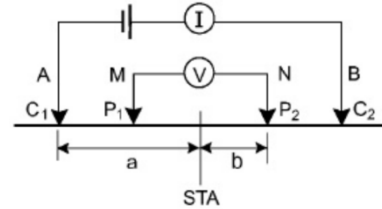
II. BAHAN DAN METODA

Metoda Geolistrik adalah salah satu metode eksplorasi geofisika yang menitikberatkan kepada medan potensial listrik di bawah permukaan. Medan listrik di bawah permukaan bumi dapat terjadi secara alamiah dan dapat pula terjadi tidak alami. Medan listrik yang terjadi secara alamiah menyebabkan beda potensial alami yang dapat diukur di permukaan. Eksplorasi geofisika menggunakan potensial alami dikenal dengan metoda passif seperti metoda *selfpotential* (SP). Sedangkan medan listrik tidak alami karena ditimbulkan oleh arus listrik yang dialirkan ke dalam bumi. Medan listrik ini menyebabkan beda potensial yang secara teoritik dapat diukur di permukaan bumi. Medan listrik yang timbul karena arus listrik dialirkan ke dalam bumi dikenal dengan metoda aktif seperti metoda geolistrik resistivity, Induksi polarisasi (IP), dan metoda elektromagnetik.

Metoda geolistrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metoda geolistrik resistivity. Pengukuran geolistrik dilakukan untuk menentukan lapisan resistivitas batuan di Kampus Unhas Tamalanrea. Untuk menentukan lapisan resistivitas secara vertikal maka pengukuran geolistrik menggunakan resistivitas sounding. Jadi resistivitas sounding adalah pengukuran geolistrik untuk memperoleh informasi mengenai variasi resistivitas secara vertikal. Dalam resistivitas sounding pengukuran dilakukan pada satu titik tetap (titik sounding) dengan spasi elektroda yang bervariasi. Data yang diperoleh adalah data arus dan beda potensial sehingga dapat dihitung resistivitas semu berdasarkan konfigurasi elektroda yang digunakan. Data resistivitas semu adalah resistivitas yang diperoleh sebagai fungsi dari spasi elektroda.

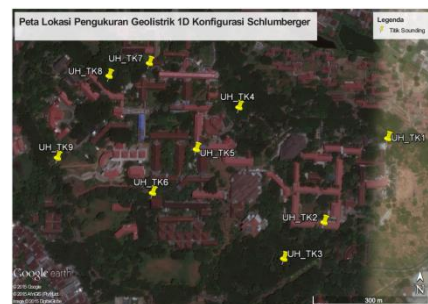
Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam pengukuran geolistrik di Kampus Unhas Tamalanrea adalah konfigurasi Schlumberger. Namun pada prinsipnya semua konfigurasi elektroda dapat digunakan untuk pengukuran geolistrik sounding. Tetapi dalam metoda geolistrik vertikal sounding (*vertical electrical sounding*) umumnya menggunakan konfigurasi Schlumberger. Alasannya adalah konfigurasi Schlumberger lebih praktis, karena hanya elektroda arus yang perlu dipindahkan untuk memperbesar spasi elektroda ($a=AB/2$).

Sedangkan elektroda potensialnya dibuat tetap. Selain itu, konfigurasi Schlumberger tidak terganggu oleh heterogenitas dekat permukaan, karena spasi elektroda potensial yang kecil ($b=MN/2$) (Telford et al, 1990. 536). Konfigurasi Schlumberger dapat dilihat pada Gambar 1.



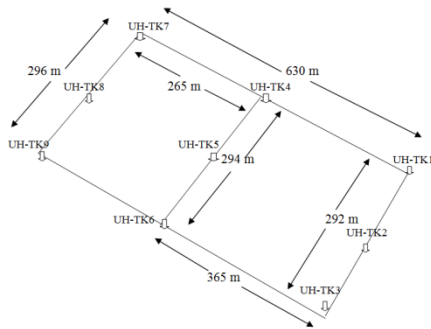
Gambar 1. Geolistrik Konfigurasi Schlumberger

Lokasi penelitian konservasi airtanah adalah Kampus Unhas Tamalanrea Makassar. Secara keseluruhan luas kampus UNHAS Tamalanrea Makassar adalah 2.121.356 m². Ketinggian topografi kampus Unhas Tamalanrea berada diantara 10 – 32 m diatas permukaan elipsoid bumi atau berada kira-kira 5 – 25 meter diatas MSL (Syahrudin, 2011). Daerah penelitian tersebut berada di pusat aktivitas tridarma Universitas Hasanuddin di kampus UNHAS Tamalanrea. Daerah pengukuran geolistrik di Kampus Unhas Tamalanrea berada pada koordinat 119°29'34.2654"E - 119°29'5.0561"E dan 5°7'39.4291"S - 5°8'11.5991"S (www. wikimapia, 2015). Daerah penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Daerah penelitian resistivitas lapisan batuan di Kampus UNHAS Tamalanrea (wikimapia.org)

Ukuran jarak antara titik-titik sounding geolistrik Kampus Unhas Tamalanrea bervariasi antara titik sounding satu dengan titik sounding yang lainnya. Variasi jarak antara titik sounding geolistrik ini karena bangunan gedung kampus yang tidak memungkinkan dibuat simetri dengan jarak yang sama. Jarak antara UH-TK1 dengan UH-TK 7 adalah 630 meter. Sedangkan lebar jarak antara UH-TK1 dengan UH-TK3 adalah 292 meter. Ukuran jarak antara titik-titik sounding geolistrik Kampus Unhas Tamalanrea selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ukuran Antara Titik Sounding Geolistrik Kampus Unhas Tamalanrea

Pengukuran geolistrik resistivitas sounding menggunakan konfigurasi Schlumberger terdiri dari sembilan titik siunding. Kesembilan titik sounding tersebut adalah UH-TK1 sampai UH-TK9. Letak koordinat setiap titik sounding geolistrik dari UH-TK1 sampai UH-TK9 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Koordinat Titik Sounding Geolistrik Kampus Unhas Tamalanrea

Titik Sounding	Derajat Menit Detik					
	Bujur (S)			Lintang (E)		
	Djt	Mnt	Dtk	Djt	Mnt	Dtk
UH-TK1	119	29	29,61	5	7	52,54
UH-TK2	119	29	24,23	5	7	59,36
UH-TK3	119	29	20,96	5	8	2,26
UH-TK4	119	29	17,38	5	7	50,01
UH-TK5	119	29	13,89	5	7	53,47
UH-TK6	119	29	10,33	5	7	57,00
UH-TK7	119	29	9,97	5	7	46,33
UH-TK8	119	29	6,65	5	7	47,37
UH-TK9	119	29	2,46	5	7	54,11

Peralatan geolistrik yang digunakan adalah Geolistrik single channel twin-probe (g-sound). Instrumen geolistrik ini di desain untuk pengukuran bergerak (portable) dengan kedalaman penetrasi arus mencapai 100 m s.d 150 m. Pada G-Sound tidak diperlukan *adjusting* SP dengan rumit, melalui tombol *adjusting* maka nilai SP terkoreksi secara otomatis. Hal ini sangat membantu untuk operator alat yang belum berpengalaman Dengan berat sekitar 1 kg menjadikan pekerjaan akuisisi data *resistivity profiling* ataupun *sounding* bertambah mudah. Peralatan geolistrik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



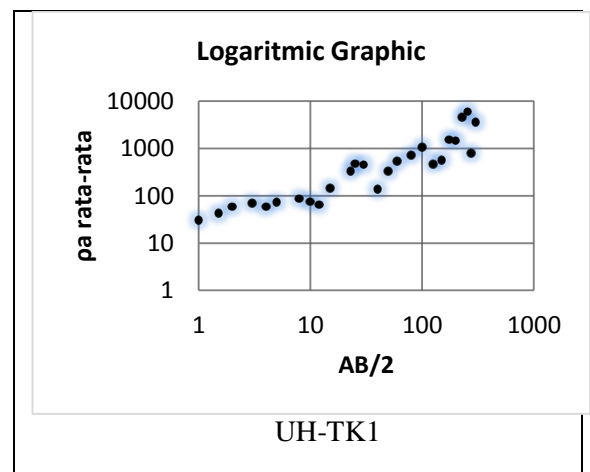
Gambar 4. Alat Geolistrik Single Channel Twin-Probe

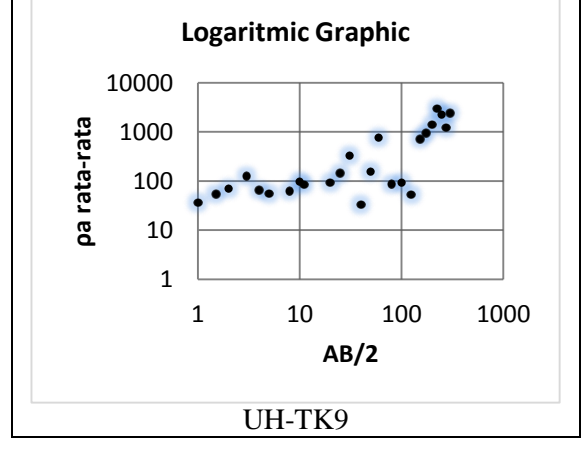
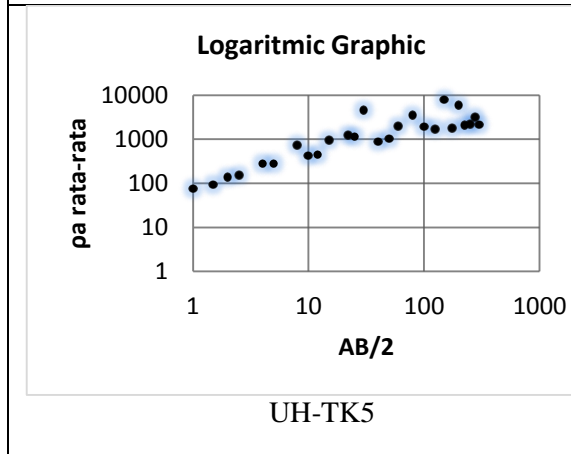
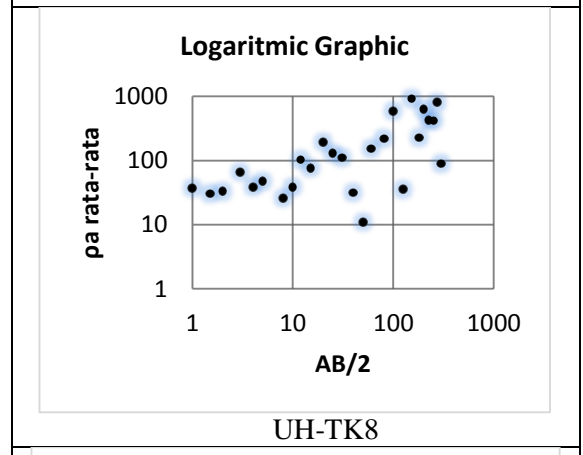
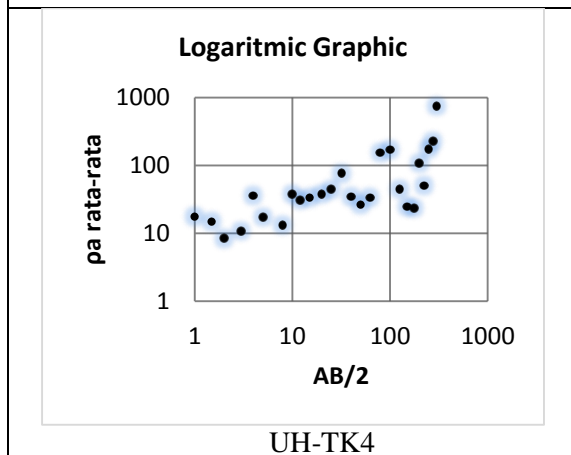
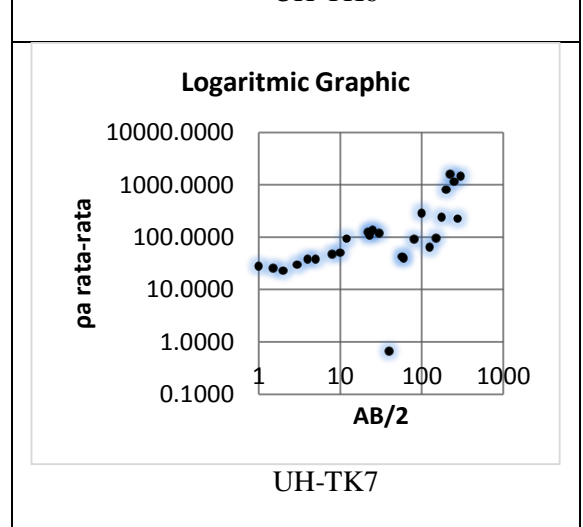
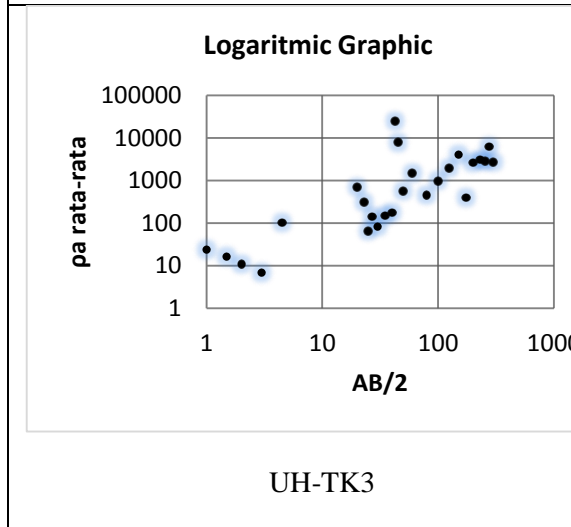
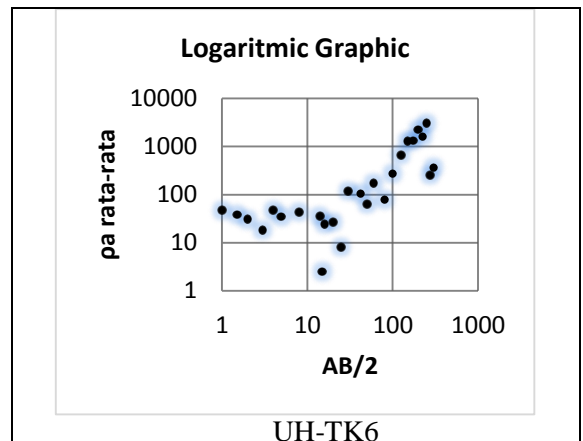
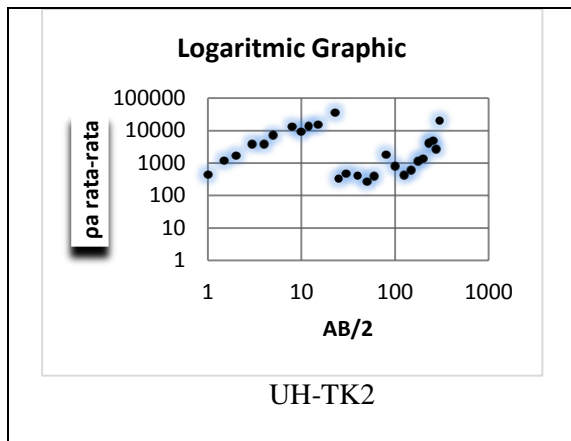
Spesifikasi teknis alat geolistrik single chanel twin-probe. Tegangan otomatis 500 V (100mA) sampai tegangan maksimum 1000 V. Arus 100 mA ($R_{ab} < 4k \text{ ohm}$) *constant current*. Daya 75 W by 2 x 12 V NiCad Battery. Impedance 10 MOhm (*high impedance*). Resolution 12 bit (*high resolution*). Kedalaman analisa $> 150 \text{ m}$ (*moist soil*).

Selain peralatan geolistrik untuk akuisisi data terdapat juga beberapa Software yang digunakan dalam pengolahan data. Adalah microsoft excel untuk perhitungan faktor geometri (K), resistivitas semu (ρ_a), dan grafik logaritmik antara kedalaman AB dengan resistivitas semu.

III. HASIL DAN DISKUSI

Resistivitas satu dimensi (1D) atau resistivitas sounding adalah pengukuran geolistrik untuk memperoleh informasi mengenai variasi resistivitas secara vertikal. Untuk melihat bagaimana bentuk dan kecenderungan hasil pengukuran geolistrik sounding di Kampus Unhas Tamalanrea maka semua hasil pengukuran diplot dalam grafik AB/2 dengan resistivitas semu (ρ_a). Hasil pengukuran geolistrik sounding UH-TK1 sampai UH-TK9 diplot dalam grafik logaritmik menggunakan microsoft excel. Hasil pengukuran geolistrik sounding di Kampus Unhas Tamalanrea setelah diplot dalam grafik logaritmik dapat dilihat pada Gambar 5.





Gambar 5 Hasil Pengukuran Geolistrik UH-TK1 sampai UH-TK9 Sounding di Kampus Unhas Tamalanrea

Hasil pengukuran resistivitas UH-TK1 sampai UH-TK9 secara umum menunjukkan bahwa resistivitas semu (ρ_a) cenderung naik terhadap spasi elektroda arus ($AB/2$). Resistivitas semu paling besar terjadi pada titik UH-TK2 tingginya mencapai 20.000,00 Ωm . Sedangkan resistivitas semu relatif kecil terjadi pada titik UH-TK 4 dengan nilai tertinggi 750 Ωm . Pada titik UH-TK1 nilai resistivitas terbentang dari 135 Ωm sampai 6000 Ωm . Pada titik UH-TK3 resistivitas mulai 64 Ωm sampai 7000 Ωm . Nilai resistivitas UH-TK5 mulai dari 431 Ωm sampai 5000 Ωm . Nilai resistivitas UH-TK6 8 Ωm sampai 3000 Ωm . Nilai resistivitas UH-TK7 mulai dari 1 Ωm sampai 1500 Ωm . Nilai resistivitas UH-TK8 mulai dari 10 Ωm sampai 900 Ωm . Sedangkan nilai resistivitas UH-TK9 mulai dari 32 Ωm sampai 3000 Ωm .

IV. KESIMPULAN

1. Hasil pengukuran geolistrik vertikal sounding di Kampus Unhas Tamalanrea menunjukkan bahwa dari semua titik sounding resistivitas semu cenderung naik terhadap spasi elektroda arus ($AB/2$). Kenaikan resistivitas semu terhadap spasi elektroda arus menunjukkan lapisan yang semakin dalam maka resistivitas semakin tinggi.
2. Nilai resistivitas semu lapisan batuan di Kampus Unhas Tamalanrea paling tinggi mencapai 20.000,00 Ωm . Sedangkan resistivitas semu di Kampus Unhas Tamalanrea yang relatif kecil adalah 135 Ωm .

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan yang sangat berharga ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi melalui dana PUPT UNHAS 2015 yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Pimpinan UNHAS dan jajarannya, Ketua komisi penelitian UNHAS dan jajarannya, Ketua dan Staf Lembaga Penelitian UNHAS, pimpinan dan jajaran Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

UNHAS, Ketua jurusan dan ketua prodi geofisika, dan para anggota Tim Peneliti atas kerjasamanya dalam penelitian ini. Terima kasih kepada semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung memberi dukungannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

REFERENSI

- [1] Syahrudin, M.H. Lantu, Syamsuddin, 2011. *Penentuan Laju Perembesan Air dalam Media Berpori Menggunakan Metoda Geolistrik Daerah Resapan Air Kampus Unhas Tamalanrea Makassar*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Unhas.
- [2] Syahrudin, M.H. Aswad, S, Syamsuddin, 2012. *Monitoring Perubahan Muka Airtanah dan Kualitasnya dengan Menggunakan Metoda Gayaberat Mikro 4D (GM-4D) dan Metoda Geolistrik (R-SP) Studi Kasus: Daerah Cekungan Air Makassar (CAM)*, Laporan Penelitian RUPT, Unhas
- [3] Telford W.M, Geldart L.P, and Sheriff R.E, 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. P
- [4] www.wikimapia, 2015. "Wikimapia - Let's describe the whole world!". 10 Mei

Identifikasi Rembesan Air Limbah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Biringkassi PT. Semen Tonasa Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner Alpha

Aswar Syafnur*, Muh. Altin Massinai dan Syamsuddin

Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin

*Email : sy.aswar@yahoo.co.id

ABSTRAK

Survei metoda geolistrik tahanan jenis 2D telah dilakukan di sekitar kolam netralisasi dan saluran pembuangan limbah cair Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Biringkassi PT. Semen Tonasa. Tujuan penelitian adalah untuk menggambarkan zona resistivitas rendah penampang 2D dan menentukan posisi rembesan air limbah. Survei geolistrik tahanan jenis dilakukan dengan menggunakan konfigurasi Wenner Alpha. Pengukuran geolistrik dilakukan pada dua lintasan dengan spasi terkecil masing-masing 3 meter dan 5 meter. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software Res2Dinv dan menghasilkan penampang resistivitas 2D. Nilai resistivitas dari limbah tersebut dapat diketahui dengan melakukan uji laboratorium menggunakan penampang konduktor yang dihubungkan dengan multimeter. Nilai resistivitas air limbah pada daerah penelitian adalah 2,5-18 Ω m. Hasil penelitian menunjukkan adanya zona tahanan jenis bernilai 2,5-18 Ω m diasumsikan sebagai rembesan air limbah pada setiap lintasan pada kedalaman rata-rata 1,25-12,4 meter. Ditemukan pula zona resistivitas <2,5 Ω m yang diasumsikan sebagai intrusi air laut. Sedangkan untuk zona tahanan jenis >2,5-18 Ω m diasumsikan sebagai material timbunan yang memiliki tahanan jenis tinggi karena daerah penelitian telah mengalami reklamasi.

Kata Kunci : resistivitas 2D, limbah, konfigurasi Wenner Alpha.

I. PENDAHULUAN

PT. Semen Tonasa ialah perusahaan BUMN perseroan terbuka yang mengelola sumberdaya batu karst Kabupaten Pangkep untuk menghasilkan produk semen yang bersaing di pasaran. Dalam operasionalnya PT. Semen Tonasa dibantu oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Biringkassi PT. Semen Tonasa berkapasitas 2 x 25 MW.

Pada kegiatan operasional PLTU Biringkassi PT. Semen Tonasa menghasilkan limbah cair B3. Sebelum limbah tersebut dialirkan ke laut lepas, terlebih dahulu ditampung pada sebuah kolam netralisasi yang nantinya kadar PH dari limbah tersebut dinetralkan dan kemudian dialirkan ke laut. Di tempat pembuangan yang berbeda terdapat air buangan hasil pendingin turbin yang secara kasat mata terlihat kotor dan berbusa serta menghasilkan bau yang tidak sedap, namun air hasil pendingin turbin tersebut tidak dinetralisasi terlebih dahulu sebelum dialirkan ke laut. Kedua jenis limbah ini dialirkan ke laut melalui saluran air semacam selokan yang terbuat dari campuran semen dan batu gunung yang kemungkinan sangat mudah untuk terjadinya rembesan ke dalam tanah oleh kedua jenis limbah tersebut. Untuk menggambarkan zona resistivitas rendah pada penampang 2D dan menentukan posisi rembesan air limbah maka dilakukan survei metoda geolistrik tahanan jenis menggunakan

konfigurasi Wenner Alpha di sekitar kolam netralisasi dan saluran pembuangan limbah cair PLTU Biringkassi PT. Semen Tonasa.

Pembuangan akhir dari PT Semen Tonasa berupa limbah B3 dan non-B3 pada kegiatan operasional Storage BBMA (Bahan Bakar dan Material Alternatif) dan kolam pengendapan yang dapat menyebabkan turunnya kualitas air. PT Semen Tonasa juga menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk operasi pabrik dan menghasilkan energi listrik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 2 x 25 MW [4].

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 14 Tahun 2013 Tentang Simbol dan Label Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, yang dimaksud dengan limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Bahan berbahaya dan beracun, yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan, merusak lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. Limbah bahan berbahaya dan beracun, yang selanjutnya disebut limbah B3, adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3 [3].

II. METODA PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Kolam Netralisasi PLTU Biringkassi PT Semen Tonasa di kecamatan Biringkassi, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Sulawesi Selatan.



Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian

Prosedur Pengukuran

Prosedur Pengukuran Metoda Geolistrik Tahanan Jenis

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner Alpha dan ada beberapa tahapan yang dilakukan sebelum pengambilan data tersebut, diantaranya ialah :

1. Survei lokasi penelitian, tahapan ini dilakukan sebagai landasan untuk mengetahui kondisi objektif lokasi penelitian.
2. Penentuan arah lintasan elektroda.
3. Penentuan jarak spasi antara elektroda C_1 , C_2 dan P_1 , P_2 sesuai dengan panjang bentangan.
4. Memasang elektroda arus dan potensial.
5. Menghubungkan peralatan alat geolistrik dan memasuki system pengaturan program geores untuk menentukan jenis konfigurasi yang telah ditentukan yaitu konfigurasi Wenner alpha. Tahapan ini dilakukan untuk persiapan pengukuran.
6. Menginjeksi arus.

Prosedur Pengukuran Air Limbah

Untuk mendapatkan nilai hambatan R dari air limbah tersebut diperlukan sebuah penampang konduktor yang dihubungkan dengan alat multimeter. Nilai hambatan yang terukur nantinya digunakan untuk menghitung nilai tahanan jenis dari air limbah tersebut.

Pengolahan Data

Pengolahan Data Metoda Geolistrik Tahanan Jenis

Dari data di lapangan yang berupa resistivitas semu kemudian diolah Res2DInv versi 3.54.44 untuk menghasilkan penampang resistivitas 2D.

Pengolahan Data Air Limbah

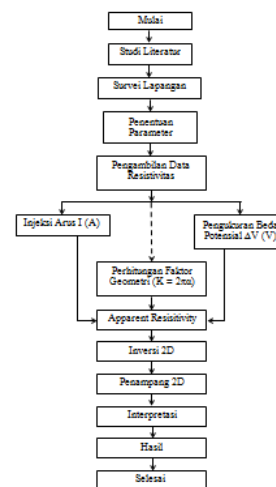
Dengan menggunakan penampang konduktor yang dihubungkan dengan multimeter dan didapatkan nilai hambatan dari air limbah tersebut kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai hambatan jenisnya menggunakan persamaan (2.1) dan diolah menggunakan Microsoft Excel.

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (2.1)$$

Pemodelan Data Resistivitas

Data true resistivity dari pengukuran di lapangan kemudian akan ditampilkan menggunakan software Res2DInv untuk mendapatkan penampang 2D.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2.2. Bagan Alir Penelitian

III. PENGOLAHAN DAN INTERPRETASI DATA

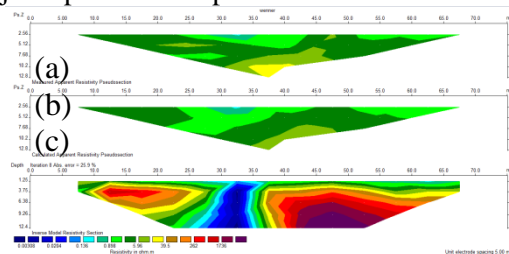
Pada akuisisi data yang dilakukan di lapangan menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis multichannel diperoleh secara otomatis nilai resistivitas semu. Berbeda dengan alat geolistrik tahanan jenis single channel diperoleh nilai tegangan dan arus, yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai resistivitas semu dengan menggunakan persamaan (3.1) dan persamaan (3.2) untuk konfigurasi Wenner Alpha. Pada penelitian ini untuk lintasan 1 digunakan spasi

terkecil adalah 5 meter sedangkan untuk lintasan 2 digunakan spasi terkecil adalah 3 meter. Panjang bentangan lintasan 1 dan 2 masing masing adalah 75 meter dan 45 meter.

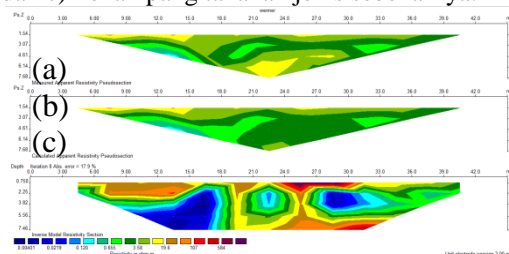
$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \quad (3.1)$$

$$K = 2\pi a \quad (3.2)$$

Setelah hasil pengukuran di lapangan, maka untuk mengetahui posisi rembesan air limbah berdasarkan resistivitas dari lintasan yang diukur dilakukan pengolahan data menggunakan program Res2Dinv Versi 3.54.44. Adapun parameter-parameter yang diinput pada program ini adalah resistivitas semu, datum point, dan spasi yang digunakan pada saat pengukuran di lapangan. Hasil inversi dari program Res2Dinv ini berupa profil penampang 2D. Gambar berikut akan memperlihatkan hasil pemodelan tahanan jenis pada daerah penelitian.



Gambar 3.1. Model tahanan jenis lokasi penelitian pada lintasan 1. a) Penampang tahanan jenis semu terukur; b) Penampang tahanan jenis semu terhitung; dan c) Penampang tahanan jenis sebenarnya.



Gambar 3.2. Model tahanan jenis lokasi penelitian pada lintasan 2. a) Penampang tahanan jenis semu terukur; b) Penampang tahanan jenis semu terhitung; dan c) Penampang tahanan jenis sebenarnya.

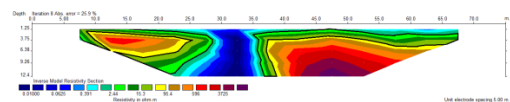
Interpretasi terhadap data resistivitas yang telah diolah menggunakan program Res2Dinv dan menghasilkan penampang 2D dilakukan dengan mempertimbangan nilai tahanan jenis batuan daerah tersebut dengan berdasar pada peta geologi daerah penelitian serta hasil dari pengukuran air limbah di laboratorium untuk mendapatkan nilai tahanan jenis. Berdasarkan peta geologi lembar Pangkajene dan Watampone

bagian barat daerah penelitian didominasi oleh endapan aluvium, danau dan pantai aluvial, swamp dan coastal deposits. Namun berdasarkan informasi yang didapatkan bahwa daerah penelitian adalah daerah yang telah mengalami reklamasi.

Untuk mempermudah pembacaan dari penampang tahanan jenis semu maka hasil inversi dari data pengukuran di lapangan akan disamakan interval nilai resistivitasnya untuk setiap lintasan.

Lintasan 1

Berdasarkan penampang resistivitas sesuai pada Gambar 4.4. diperoleh interpretasi bahwa untuk zona tahanan jenis rendah merupakan zona tersaturasi oleh air limbah dimana uji laboratorium untuk pengukuran resistivitas air limbah diperoleh nilai resistivitas berkisar 2,5-18 Ωm . Sehingga dapat diasumsikan bahwa pada daerah bawah permukaan tanah tersebut telah terjadi rembesan oleh air limbah PLTU Biringkassi PT. Semen Tonasa. Zona tahanan jenis bernilai 2,5-18 Ωm ditemukan di beberapa titik di antaranya pada kedalaman sekitar 1,25-12,4 meter di bawah permukaan tanah di sekitar posisi antara elektroda kedua dan elektroda ketiga sampai antara elektroda enam dan tujuh atau sekitar 7-29 meter dari posisi elektroda pertama, zona tahanan jenis bernilai 2,5-18 Ωm pada lintasan 1 juga ditemukan pada kedalaman 1,25-12,4 meter di bawah permukaan tanah di sekitar posisi antara elektroda tujuh dan delapan sampai antara elektroda empat belas dan limabelas atau sekitar 35-67 meter dari posisi elektroda pertama. Untuk zona bertahanan jenis <2,5 Ωm diasumsikan sebagai intrusi air laut mengingat daerah penelitian berdekatan dengan laut. Untuk zona tahanan jenis tinggi diinterpretasikan sebagai material timbunan dengan nilai tahanan jenis tinggi karena daerah penelitian merupakan daerah hasil reklamasi.

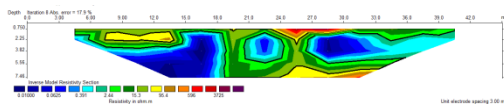


Gambar 3.3. Profil 2D hasil inversi data geolistrik lintasan 1.

Lintasan 2

Dari hasil inversi data yang didapatkan di lapangan yang ditampilkan sesuai pada Gambar 4.5. dapat diperoleh interpretasi bahwa lintasan 2 didominasi oleh intrusi air laut yang ditandai

dengan adanya zona tahanan jenis rendah dengan nilai $<2,5\Omega\text{m}$. Untuk zona tahanan jenis bernilai 2,5-18 Ωm menyebar di sepanjang lintasan 2 mulai dari kedalaman 0,75-7,46 meter sehingga dapat diasumsikan bahwa pada bagian bawah permukaan lokasi penelitian telah terjadi rembesan oleh air limbah PLTU PT. Semen Tonasa. Untuk zona tahanan jenis tinggi terdapat di tiga titik seperti pada Gambar 4.5, untuk titik pertama terdapat pada kedalaman 1,5-2,25 meter pada jarak 8-14 meter dari posisi elektroda pertama. Zona tahanan jenis tinggi yang kedua berada pada kedalaman 0,75-2,25 meter pada jarak 23-31 meter dari posisi elektroda pertama. Untuk zona tahanan jenis tinggi ketiga berada pada kedalaman 5,56-7,46 meter dan berada pada jarak 24-33 meter dari posisi elektroda pertama. Zona tahanan jenis tinggi diinterpretasikan sebagai material timbunan dengan nilai tahanan jenis tinggi karena daerah penelitian merupakan daerah hasil reklamasi.



Gambar 3.4. Profil 2D hasil inversi data geolistrik lintasan 2.

II. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan interpretasi data yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Zona resistivitas rendah untuk setiap lintasan dapat digambarkan pada penampang 2D berdasarkan data yang telah diperoleh dari pengukuran pada lintasan 1 dan lintasan 2 di lapangan.
2. Posisi rembesan air limbah PLTU Biringkassi PT. Semen Tonasa ditemukan berdasarkan hasil penampang resistivitas 2D.

REFERENSI

- [1] Andriyani, S., A.H.Ramelan, dan Sutarno. 2010. *Metoda Geolistrik Imaging Konfigurasi Dipole-dipole Digunakan Untuk Penelusuran Sistem Sungai Bawah Tanah pada Kawasan Karst di Pacitan Jawa Timur*. Jurnal EKOSAINS.
- [2] Hendrawati, A. 2013. *Identifikasi Intrusi Limbah Pertambangan Emas Liar dengan Menggunakan Metoda Geolistrik 3D Studi Kasus Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- [3] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia (Permen LH RI) No. 14 Tahun 2013. Jakarta.
- [4] Pusat Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup (Puslitbang LH). 2011. *Dokumen Evaluasi Lingkungan Hidup (DELH) Industri Semen Portland PT SemenTonasa*. Universitas Hasanuddin (UNHAS) Makassar.
- [5] Pusat Pengembangan dan Penerapan AMDAL BAPEDAL. 2001. *Aspek Lingkungan dalam Amdal Bidang Pertambangan*. Jakarta.
- [6] Suparmanto. A.M.U., Rahmadana A. 2006. *Kajian Penyebaran Limbah Cair Bawah Permukaan Berdasarkan Sifat Kelistrikan Batuan di Lokasi Pembuang Akhir (LPA) Benowo Surabaya*. Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [7] Telford, W.M. Geldart, L.P. Sheriff, R.E. Keys, D.A. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, London.

Analisis Data Inversi 2-Dimensi dan 3-Dimensi untuk Karakterisasi Nilai Resistivitas Bawah Permukaan

Muh. Taufik Dwi Putra, Syamsuddin* dan Sabrianto Aswad

Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

* E-mail: syamsuddinmalang@yahoo.co.id

ABSTRAK

Batuan merupakan suatu jenis material yang memiliki sifat kelistrikan. Metode resistivitas adalah salah satu metode geolistrik yang mempelajari sifat kelistrikan lapisan batuan bawah permukaan bumi. Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dimanfaatkan dalam eksplorasi sumber daya alam bawah permukaan. Prinsip dari metode geolistrik adalah mempelajari aliran listrik dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan. Selama ini pengukuran resistivitas di lapangan biasanya mengambil data 1D dan 2D. Data 2D diinversi kemudian dibuat pseudo 3D. Hasilnya sangat berbeda dengan data yang memang dirancang dalam 3D kemudian diinversi jadi 3D. Pada forward modeling, hasil inversi 2D yang dibuat pseudo 3D memperlihatkan anomali yang relatif memanjang mengikuti arah porosnya. Sementara data 3D yang diinversi memperlihatkan bentuk anomali yang tidak mengalami perpanjangan. Hasil dari ekstrapolasi data memberi nilai hanya berdasarkan pada datum point terluar dan menggeneralisasi data sampai titik terendah ataupun tertinggi. Sehingga dalam interpretasi dapat menimbulkan penafsiran yang kurang tepat. Data 3D memiliki akurasi lebih tinggi daripada data 2D. Nilai resistivitas rendah terdeteksi di bagian Timurlaut daerah penelitian dengan nilai di bawah $10 \Omega\text{m}$ yang diduga sebagai bagian dari sumber air panas.

Kata Kunci: *Inversi 3D, Pseudo 3D, Resistivitas, Anomali, Mata Air Panas.*

I. PENDAHULUAN

Batuan merupakan suatu jenis materi yang memiliki sifat kelistrikan. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialiri arus listrik ke dalamnya. Arus listrik tersebut dapat berasal dari alam sendiri akibat terjadinya ketidaksetimbangan maupun arus listrik yang sengaja disuntikkan ke dalam bumi. Pada bagian batuan atom-atom terikat secara ionik atau kovalen sehingga menyebabkan batuan mempunyai sifat hantaran arus listrik yang biasa disebut konduktivitas. Kebalikan sifat konduktivitas adalah resistivitas yang berarti hambatan jenis.

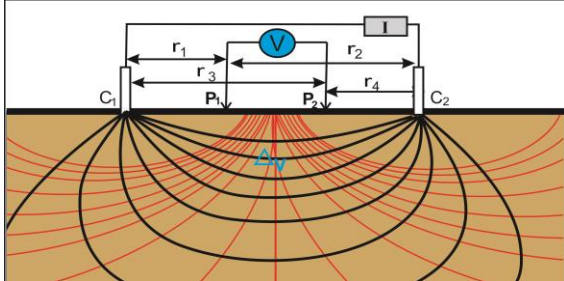
Metode resistivitas adalah salah satu metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas atau konduktivitas listrik dari lapisan batuan di dalam bumi. Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dimanfaatkan dalam eksplorasi sumber daya alam bawah permukaan. Prinsip kerja metode geolistrik adalah mempelajari aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Bumi diasumsikan berlapis dan homogen isotropik. Nilai resistivitas yang terukur di permukaan merupakan resistivitas semu. Analisis data geolistrik dapat dilakukan dengan Pemodelan (*Forward Modeling*) atau Inversi. *Forward Modeling* dilakukan untuk memperkirakan target anomali yang akan diteliti. Sementara inversi dilakukan setelah ada data lapangan.

Forward Modeling yang dilakukan menggunakan konfigurasi tertentu sesuai dengan konfigurasi yang akan dilakukan di lapangan. Untuk membandingkan model 3D dari hasil inversi data 2D dengan model hasil inversi data 3D dilakukan Forward Modeling dengan model anomali sederhana. Pada kesempatan ini dilakukan penelitian tentang hal di atas dengan judul “Analisis Data Inversi 2D dan 3D untuk Karakterisasi Nilai Resistivitas Bawah Permukaan” dengan menggunakan konfigurasi Wenner.

Metode geolistrik didasari oleh hukum Ohm, bertujuan untuk mengetahui jenis perlapisan didasarkan pada distribusi nilai resistivitas pada setiap lapisan. Dengan menginjeksikan arus melalui dua elektroda arus maka beda potensial yang muncul dapat terukur di pasangan elektroda potensial. Dari pasangan elektroda arus dan elektroda potensial dapat dihiutng resistivitas semu batuan. Pada metode geolistrik resistivitas diasumsikan bahwa bumi berlapis dan bersifat homogen isotropik. Nilai resistivitas yang terukur bukan harga resistivitas lapisan sebenarnya akan tetapi merupakan nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*) (Krishnamurthy 2009).

Di permukaan bumi dalam eksplorasi dengan geolistrik tahanan jenis digunakan dua pasang

elektroda ,masing-masing satu pasang elektroda arus dan satu pasang elektroda potensial. Dalam kedua pasang elektroda tersebut kemudian dikenal beberapa kongurasi. Dalam entimennya arus disuntikkan kedalam bumi melalui dua elektroda arus dan beda potensialnya diukur melalui dua elektroda potensial. (Rustadi 2008)



Gambar 1. bentuk umum konfigurasi elektroda pada pengukuran geolistrik hambatan jenis

Beda potensial antara titik P₁ dan titik P₂ yang dipengaruhi oleh elektroda arus C₁ dan C₂, adalah :

$$\Delta V = V_{P_1} - V_{P_2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}$$

Sehingga resistivitas untuk setiap pasangan elektroda dapat ditulis sebagai:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

dengan:

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1}$$

II. BAHAN DAN METODA

Pengambilan data dilakukan secara langsung dengan menggunakan metode geolistrik hambatan jenis konfigurasi Wenner dengan metode survei 3-Dimensi dengan 16 lintasan pada *inline* dan 16 lintasan pada *Crossline*. dengan tahap pelaksanaan sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan yang digunakan untuk pengukuran yaitu, satu *main unit* resistivitymeter *multichannel* beserta kabel konektor, dua buah aki beserta kabel konektornya, dan satu buah laptop beserta kabel konektornya.
2. Membentangkan meteran untuk menentukan panjang lintasan secara tepat dengan menggunakan 2 buah meteran masing-masing dibentangkan berlawanan
3. Menancapkan elektroda yang di gunakan pada permukaan tanah dengan bantuan palu

dengan spasi 3 meter antara tiap elektroda,juga memperhatikan posisi elektroda yang harus tertancap lurus dan agak dalam serta menghindari tanah timbunan, genangan air, atau tanah hasil bongkaran. Hal tersebut dilakukan agar setiap elektroda mempunyai kontak yang bagus dengan *main modul* sehingga arus yang diinjeksi juga baik.

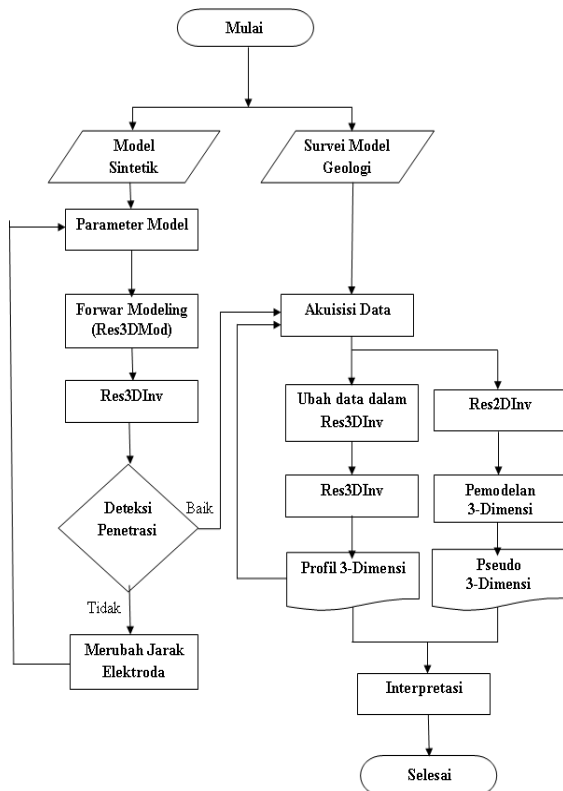
4. Menentukan titik koordinat dari setiap elektroda yang telah tertancap menggunakan GPS untuk memudahkan koreksi topografi saat pengolahan data.
5. Membentangkan kabel sesuai panjang lintasan dan menghubungkannya kesetiap elektroda yang telah tertancap ke tanah.
6. Pastikan semua elektroda terhubung dengan terminal kabel dan kabel sudah terhubung dengan main unit, dengan mengecek kontak resistensi masing-masing elektroda. Apabila tidak terdapat masalah pengukuran dapat segera di lakukan secara otomatis dengan perintah komputer.
7. Melakukan pengecekan data yang diperoleh dari pengukuran otomatis untuk memastikan kualitas data yang diperoleh. Apabila ada data yang hilang atau terlewatkan dapat dilakukan pengambilan data secara manual dengan perintah komputer.

Setelah melakukan pengambilan data di lapangan, dilakukan pengolahan data. Hal penting yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah membuat dan mengolah data sintetik. dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat model geologi sintetik sedemikian rupa sehingga dapat membandingkan Line X dan Line Y.
2. Menentukan dimensi dan posisi model sintetik yang dibuat sehingga terletak pada tengah-tengah titik pengukuran. Ukuran anomali diambil 9 m x 9 m x 2 m pada kedalam 1 meter di bawah permukaan.
3. Analisis data 3D menggunakan konfigurasi Wanner yang searah dengan sumbu X yang disebut *Inline*.
4. Analisis *Crossline* yang searah dengan sumbu Y atau memotong sumbu X. Pada kasus ini, akuisisi 3D menggunakan jarak dan spasi yang sama baik dengan Line X.
5. Data dari Line X dan Line Y digabungkan sehingga membentuk satu data yang akan diinversi sekaligus dalam *Res3Dinv*.

Akuisisi data di lapangan menghasilkan nilai resistivitas semu untuk setiap datum. Pengolahan data selanjutnya dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menganalisis data secara 3D untuk salah satu sumbu, Inline misalnya.
2. Mengolah data secara keseluruhan kemudian membandingkan dengan hasil point (1).
3. Menganalisis zona-zona resistivitas rendah untuk identifikasi sumber air panas.

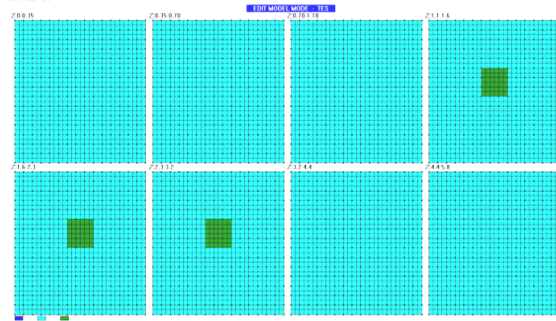


Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN DISKUSI

Data Sintetik

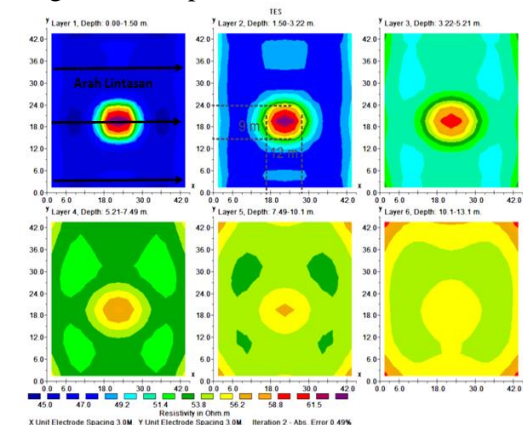
Anomali resistivitas sintetik yang dibuat berbentuk persegi dan diletakkan pada tengah-tengah titik pengukuran dengan ukuran anomali 9 m x 9 m dan terletak di kedalaman 1 – 3 m di bawah permukaan tanah, bentuk ini digunakan untuk melihat bagaimana penggambaran nilai resistivitas yang hanya menggunakan pengukuran satu arah. Pada kasus ini nilai resistivitas anomali (warna hijau) adalah 100 Ω m dan nilai resistivitas *background* (latar) 50 Ω m. Nilai ini diambil untuk melihat bagaimana perbandingan nilai resistivitas jika nilai resistivitas pada anomali lebih besar dibandingkan nilai resistivitas pada *background* (Berbanding terbalik dengan data sintetik yang di buat sebelumnya).



Gambar 3. Model Sintetik untuk perbandingan Inline (X) dan Crossline (Y)

Model sintetik ini disesuaikan dengan pengukuran di lapangan menggunakan konfigurasi Wanner dengan 16 elektroda dengan spasi terkecil 3 m. Dari model sintetik tersebut diperoleh data sintetik yang searah sumbu X disebut data *Inline* dan searah sumbu Y disebut data *Crossline*.

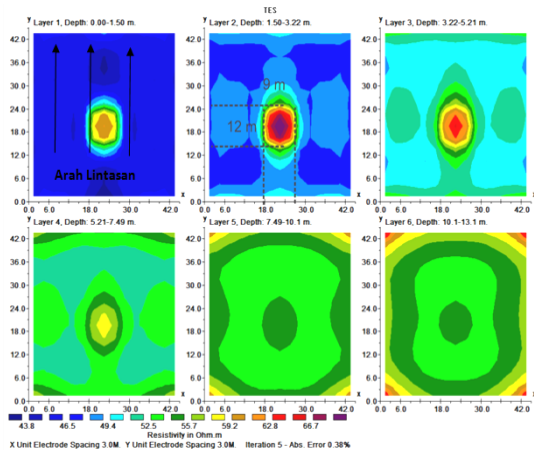
Pada kasus ini data *Inline* yang didapatkan terdiri dari 16 lintasan yang sejajar dengan jarak antara setiap lintasan adalah 3 m. Data ini kemudian diinversi dengan *Res3DInv* dengan beberapa kali iterasi kemudian menghasilkan penampang 3D dengan view seperti 2D berikut:



Gambar 4. Penampang Horizontal dari data Inline (Sumbu X)

Gambar ini hanya menggunakan data *Inline* saja dan memperlihatkan transisi anomali resistivitas yang dihasilkan *Res3DInv* yang melebar searah sumbu X dengan lebar 12 m hingga kurang sesuai dengan bentuk geologi sesungguhnya. Hal ini diperkirakan karena data yang didapatkan hanya dari line X sehingga penggambaran resistivitas pada line Y kurang akurat dan penampang yang dihasilkan membentuk anomali resistivitas searah dengan sumbu X atau searah dengan lintasan akuisisi.

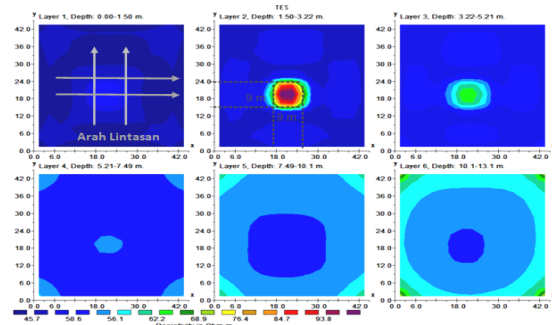
Pada kasus yang lain, data *Crossline* diinversi dengan perlakuan yang sama dengan data *Inline*, kemudian menghasilkan Gambar seperti berikut:



Gambar 5. Penampang Horizontal dari Data Crossline (Sumbu Y)

Gambar ini menunjukkan transisi anomali resistivitas juga berbentuk memanjang ke arah sumbu Y dengan panjang 12 m dan juga kurang sesuai dengan bentuk geologi sesungguhnya. Hal ini akan berdampak pada proses interpretasi ke depannya, hingga bisa membuat kesimpulan yang kurang tepat dalam interpretasi data.

Apabila digunakan semua sumbu, data *Inline* dan *Crossline* membentuk satu data kemudian diinversi sekaligus dalam *Res3DInv* juga dengan dengan perlakuan yang sama dengan kedua Gambar di atas, maka akan menghasilkan penampang sebagai berikut.

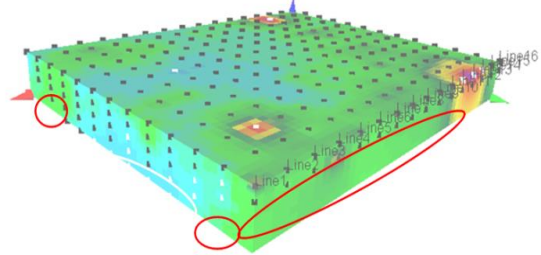


Gambar 6. Penampang inversi 3D yang melibatkan sumbu X dan sumbu Y.

Pada Gambar 6 ini, anomali resistivitas yang dihasilkan oleh *Res3DInv* degradasi resistivitas melemah sehingga terlihat mirip dengan model geologi sintetikanya. Nilai resistivitas anomali yang ditunjukkan pada penampang tersebut bernilai 93.8 Ωm , mendekati nilai resistivitas sintetikanya yaitu 100 Ωm . Baik bentuk maupun nilai resistivitas model, cara ini lebih mendekati dibandingkan dua cara di atas yang hanya data *Crossline* (nilai 66.7 Ωm) maupun *Inline* (nilai 61.5 Ωm).

Data Lapangan

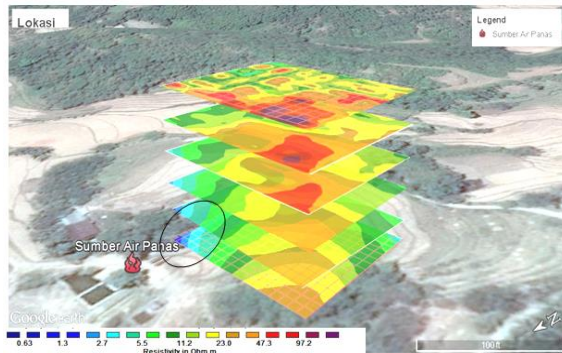
Pengambilan data menggunakan konfigurasi Wanner dilakukan pada setiap line sehingga data yang didapatkan langsung dari lapangan berupa data 2D sehingga data juga bisa inversi dengan *Res2DInv* untuk menghasilkan penampang 2D. Hasil inversi 2D ini dapat dibuat seolah olah 3D yang biasa disebut pseudo 3D karena diperoleh dari hasil inversi 2D dengan menggunakan data-data di salah satu sumbunya, misalnya sumbu X saja.



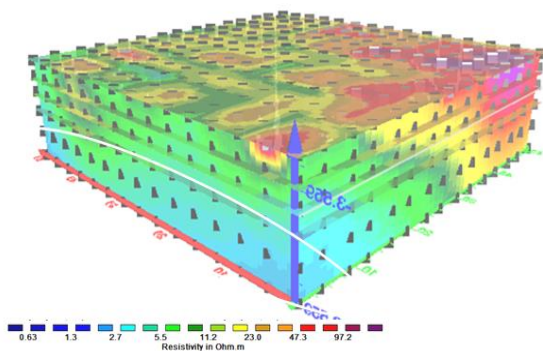
Gambar 7. Pseudo 3 Dimensi Menggunakan *Software Voxler* dari data Hasil Inversi 2 Dimensi Pseudo 3D pada gambar 7 di atas merupakan gabungan dari data hasil inversi 2D yang kemudian ditampilkan kedalam *Software 3D* sehingga nampak seperti penampang 3D. Di sini terlihat adanya datum yang kosong seperti ditunjukkan dengan garis merah. Nilai-nilai yang diperlihatkan pada area itu merupakan hasil ekstrapolasi dari data terluar. Hasil itu memiliki ketidakpastian yang tinggi sehingga dapat beresiko dalam meninterpretasi anomali bawah permukaan.

Untuk mengurangi pengaruh ekstrapolasi, digunakan data dari semua sumbu. digabung kemudian diinversi dalam *software Res3DInv*. Hasil inversi ini memiliki datum yang lengkap sehingga dapat ditampilkan dengan menggunakan *software 3D* yang lain (Gb.11). Mengapa menggunakan *software* lain, karena *Res3DInv* hanya menghasilkan penampang 3D berupa penampang-penampang horisontal.

Pada gambar ini terlihat adanya kelompok-kelompok harga resistivitas, kelompok yang nilai resistivitasnya di atas 50 Ωm merupakan intrusi batuan beku, sementara kelompok yang memiliki nilai resistivitas rendah yakni di bawah 10 Ωm yang ditunjukkan oleh garis hitam pada Gambar diduga sebagai sumber air panas yang keluar sebagai manifestasi di lapangan.



Gambar 8. Penampang Resistivitas 3 Dimensi Horizontal yang di-Overlay pada Lokasi Penelitian



Gambar 9. Tampilan 3 Dimensi Menggunakan Voxler dari data Hasil Inversi 3 Dimensi

Tampilan penampang 3 Dimensi (Gambar 11) menunjukkan adanya aliran air bawah tanah yang diperkirakan mengalir dari perbukitan dan turun ke arah sumber air panas, aliran ini diidentifikasi sebagai salah satu sumber air yang terpanaskan oleh sistem geothermal Kampala.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Analisis data untuk inversi 3D memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggabungkan hasil inversi 2D ke bentuk pseudo 3D.
2. Resistivitas rendah terdeteksi di bagian Timurlaut daerah penelitian dengan nilai di bawah $10 \Omega\text{m}$ yang diduga sebagai bagian dari sumber air panas.

Setelah selesainya penelitian ini maka disarankan kepada peneliti berikutnya antara lain:

1. Perlu menggunakan panjang bentangan yang lebih panjang dan/atau menggunakan konfigurasi elektroda yang lain seperti Gradient dan lain-lain.

2. Aplikasikan pengukuran data 3D pada daerah geothermal yang lain ataupun pada target-target yang lain seperti eksplorasi mineral tertentu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini dapat dipublikasikan tidak lepas dari support dari berbagai pihak. Untuk itu melalui tulisan ini diucapkan banyak terima kasih kepada

- a. Panitia pelaksana SNF-MKS-2015 di Fisika Unhas atas diterimanya tulisan ini
- b. Pimpinan Universitas Hasanuddin, Dekan MIPA, dan Ketua Jurusan Fisika yang telah mengizinkan penulis mengikuti SNF-MKS-2015
- c. Keluarga yang rela melepaskan penulis untuk mengikuti SNF-MKS-2015
- d. Dan masih banyak lagi yang tidak dapat disebut satu persatu

REFERENSI

- [1] Strong, D. R., Jr. 1980. Null hypothesis in ecology. *Synthese* 43: 271-285.
- [2] K. Basar, T. Sakuma and E. Kartini, *Frequency and Temperature Dependent of Conductivity from Superionic Conducting Glass $(\text{AgI})_x(\text{AgPO}_3)_{1-x}$* , Proceedings of the International Conference on Mathematics and Natural Science (2006) 881.
- [3] Eadie, W. R. 1954. Animal control in field farm and forest. MacMillan Co., New York, New York, USA.
- [4] Werner, P.A. 1979. Competition and coexistence of similar species. Pages 287-310 in O.T. Solbrig, S. Jain, G. B. Johnson and P. Raven, editors. Topics in plant population biology. Columbia University Press, New York, New York, USA.
- [5] Davids, D. L. 1998. Recovery Effects in Binary Aluminum Alloys. Ph.D. Thesis, Harvard University, USA.
- [6] Hegner, M.B and K.L. Wendt. 1977. *Method of Sorting Seeds*, UK Patent 1470133.
- [7] Heinselman, M. L. 1981. Fire intensity and frequency as factors in the distribution and structure of northern ecosystems. Pages 7-57 in H. Mooney, I. M. Bonnicksen, N. L. Christensen, J. E. Loten, and W. A. Reiners, editors. Fire regimes and ecosystem properties. USDA Forest Service General Technical Report WO-2

Analisis Arah Kekar Parangloe Sulawesi Selatan dengan Menggunakan Program Dips

Muh. Altin Massinai, Reski Ayu Magfira Alimuddin dan Maria

Program Studi Geofisika, FMIPA UNHAS

*Email: muhammad_altin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian mengenai Stuktur Geologi untuk daerah Sulawesi Selatan yang sifatnya regional telah banyak dilakukan oleh pakar geologi, tetapi masih dibutuhkan suatu penelitian Struktur Geologi yang lebih detail untuk memecahkan masalah-masalah geologi di daerah tersebut. Penelitian kekar di daerah Parangloe Gowa lebih menghususkan pada penentuan arah tegasan utama di daerah tersebut. Penelitian ini menggunakan data lapangan berupa data *strike* dan data *dip*. Pengolahan dan verifikasi data menggunakan analisisstatistic, yaitu uji normalitas data, uji homogenitas, uji beda rata-rata, uji beda independen dan uji regresi-korelasi. Penentuan arah tegasan dengan analisis kekar menggunakan program *DIPS*. Hasil yang didapatkan dari penelitian adalah arah tegasan yang sama di ketiga lokasi penelitian yang mengarah Timur Laut-Barat Daya.

Kata Kunci: Struktur Geologi, Program Dips, Statistik, Arah Kekar.

I. PENDAHULUAN

Geologi struktur adalah bagian dari ilmu geologi yang mempelajari tentang bentuk (arsitektur) batuan sebagai hasil proses deformasi. Proses deformasi adalah perubahan bentuk dan ukuran pada batuan akibat dari gaya (*force*) yang terjadi di dalam bumi. Di dalam pengertian umum, geologi struktur adalah ilmu yang mempelajari tentang bentuk batuan sebagian dari kerak bumi serta menjelaskan proses pembentukannya [1].

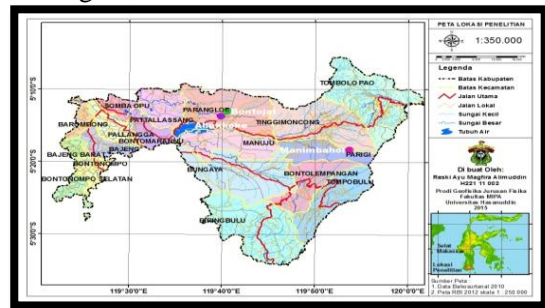
Penelitian mengenai stuktur geologi untuk daerah Sulawesi Selatan yang sifatnya regional telah banyak dilakukan oleh pakar geologi, tetapi masih dibutuhkan suatu penelitian struktur geologi yang lebih detail untuk memecahkan masalah-masalah geologi di daerah tersebut. Keberadaan informasi geologi tersebut tidak hanya dapat dimanfaatkan oleh orang-orang yang berkecimpung dalam bidang ilmu kebumihan, tetapi juga sebagai data awal untuk masyarakat di daerah tesebut. Struktur geologi daerah penelitian sangat menarik untuk diteliti karena terdapat banyak kekar pada daerah tersebut. Di daerah Kabupaten Gowa penelitian mengenai kekar pernah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. [2] melakukan penelitian di dua daerah yaitu Lengese dan Malino Kabupaten Gowa dengan menentukan arah tegasan pada subdas Lengese dan subdas Malino yang ditampilkan pada diagram Rosette. Berdasarkan penelitian sebelumnya maka dilakukan penelitian dengan menentukan arah kekar pada wilayah yang sama, dengan memperbanyak lokasi penelitian menjadi 3

lokasidi Parangloe, yaitu Manimbahoi, Allu Keke dan Bontojai.

Program *DIPS* digunakan untuk mempermudah pembuatan diagram *Rosette* sehingga dapat ditentukan arah tegasan kekar daerah penelitian.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan padatiga lokasi di Parangloe, Gowa Sulawesi Selatan



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data *strike* dan *dip* kekar merupakan data Primer yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dengan menggunakan kompas geologi. Pengolahan data dilakukan melalui program *Excel* untuk analisis statistik. Penggunaan program *DIPS* untuk mencari arah tegasan yang berbentuk diagram Rosette.

III. HASIL

Jenis Kekar Daerah Penelitian

Kekar adalah struktur rekahan yang terbentuk pada batuan dengan tidak atau sedikit sekali mengalami pergeseran [3]. Kekar yang terdapat di Allu Keke, Bontojai, dan Manimbahoi adalah kekar *non systemtic*. Kekar *non systematic* pada

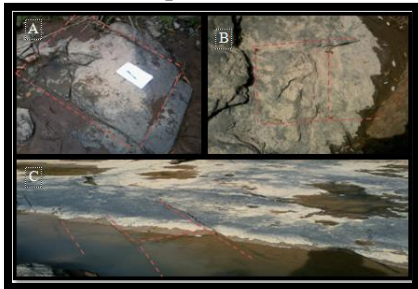
daerah penelitian adalah bentuk kekar yang tidak teratur susunannya.

Genetiknya kekar ini terdiri atas kekar tarik dan kekar gerus. Kekar tarik bentuk berpasangan, permukaannya kasar, berbentuk seperti kotak dan jajar genjang, serta mempunyai bukaan kekar yang besar. Kekar gerus mempunyai ciri-ciri di lapangan adalah bentuk kekarnya yang membentuk garis horisontal, mempunyai bukaan kekar yang kecil, serta permukaan yang licin karena sering terjadi gerusan.

Kekar yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4



Gambar 2. Kenampakan kekar *non systematic*



Gambar 3. Kenampakan kekar *tarik*



Gambar 4. Kenampakan kekar *gerus*

Hasil Olah Data Uji *Lilliefors* pada Program Excel

Statistik (*statistic*) adalah ilmu yang terdiri dari teori dan metoda yang merupakan cabang dari matematika terapan dan membicarakan tentang bagaimana mengumpulkan data, bagaimana menarik kesimpulan dari hasil analisis, bagaimana menentukan keputusan dalam batas-batas resiko tertentu berdasarkan strategi yang ada [4].

Uji normalitas adalah apakah data empirik yang didapatkan dari lapangan sesuai dengan distribusi teoritik tertentu. Dalam kasus ini, distribusi normal. Dengan kata lain, apakah data yang diperoleh berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

Uji normalitas dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Lilliefors*. Uji *Lilliefors* adalah uji yang dilakukan dengan menggunakan koefisien T yang dihitung dengan rumus sebagai berikut [5].

$$T = |F(Z_i) - S(Z_i)| \quad (1)$$

Keterangan :

T = Fungsi distribusi kumulatif normal standar

F = Fungsi distribusi kumulatif empirik

S(Z_i) = Frekuensi kumulatif nyata

Langkah-langkah pengujian :

1. Menghitung rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2)$$

Keterangan :

\bar{x} = Rata-Rata

$\sum x_i$ = Jumlah data

n = Banyaknya data

2. Menghitung standar deviasi

$$s^2 = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)} \quad (3)$$

Keterangan :

s = Standar Deviasi

x = data

n = banyaknya data

3. Menghitung Z_i

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{s} \quad (4)$$

Z_i = bilangan baku

\bar{X} = Rata-Rata data

X_i = data 1, 2, 3, ..., n

s = standar Deviasi

4. Menghitung F*(Z_i) , untuk tipe bilangan baku digunakan daftar distribusi normal baku, kemudian dihitung peluang

$$F(Z_i) = P(Z \leq Z_i) \quad (5)$$

Menghitung S(Z_i)

$$S(Z_i) = \frac{\text{banyaknyaz}_i, z_2, \dots, z_n \text{ yang } \leq z_i}{n} \quad (6)$$

Hitung selisih F(Z_i) - S(Z_i), kemudian tentukan harga mutlaknya.

5. Ambil harga yang paling besar diantara harga-harga mutlak selisih tersebut Untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal atau tidak, harga mutlak terbesar (T_{hitung}) dibandingkan dengan nilai kritis/nilai T_{tabel} uji *Lilliefors* (T) pada taraf nyata α yang dipilih.

Kriterianya adalah : jika $T_{hitung} \leq T_{tabel}$ maka data yang diperoleh berdistribusi normal, jika $T_{hitung} > T_{tabel}$ maka data yang diperoleh tidak berdistribusi normal.

Kriteria uji pada uji *Lilliefors* : jika $T_{hitung} \leq T_{tabel}$, maka data yang diperoleh berdistribusi normal, dan jika $T_{hitung} > T_{tabel}$ maka data yang diperoleh tidak berdistribusi normal.

Dari data yang telah diolah didapatkan data berdistribusi normal di Allu Keke kuadran I-IV, Bontojai Kuadran I-III, Manimbahoi kuadran I-IV, dan tidak berdistribusi normal pada kuadran IV di Bontojai. Nilai T_{hitung} yang diperoleh lebih besar dari nilai T_{tabel} . Hal tersebut disebabkan karena adanya 2 jenis kekar yaitu kekar gerus dan kekar tarik dalam satu singkapan yang sehingga mempengaruhi nilai *strike* yang diperoleh pada daerah penelitian. Nilai *strike* antara kekar yang satu dengan nilai *strike* kekar yang lainnya jauh berbeda sehingga menyebabkan standar deviasi besar yang mempengaruhi hasil pengolahan data.

Hasil Olah Program *Dips*

DIPS adalah program yang dirancang untuk menganalisis struktur geologi. Program ini adalah suatu alat bantu yang dapat digunakan dalam berbagai bidang dan dirancang untuk dapat digunakan menganalisis proyeksi stereografik untuk data geologi.

DIPS dirancang untuk analisis data yang berhubungan dengan analisa rancangan struktur batuan, sehingga format yang dipakai *DIPS* data file memungkinkan menganalisa segala bentuk orientasi basis data. Penggunaan aplikasi *DIPS* antara lain untuk geologi, tambang, dan teknik sipil. Pengenalan aplikasi *DIPS* disini terbatas pada pengguna *DIPS* untuk Penentuan arah tegasan daerah penelitian dengan menggunakan diagram *Rosette*.

Secara garis besar aplikasi *DIPS* terdiri dari dua program, yaitu :

1. Lembar kerja (*spreadsheet*) yang berfungsi sebagai input data yang akan diproses, yang terdiri dari kolom dan baris
2. Fitur dasar *DIPS* yaitu *Pole Plot*, *Contour Plot*, *Scatter Plot*, *Rosette Plot*, dan *Major Planes Plot*.

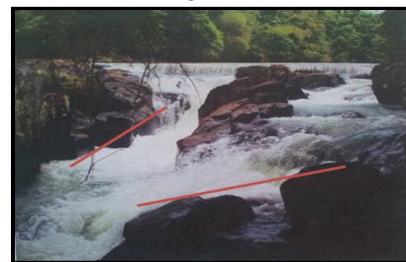
Hasil diagram *Rosette* memperlihatkan arah jurus kekar di Allu Keke dan Manimbahoi mengarah

Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut-Tenggara dengan tegasan utama mendominasi ke arah Timur Laut-Barat Daya, sementara arah jurus kekar di Bontojai mengarah ke Timur Laut-Barat Daya.

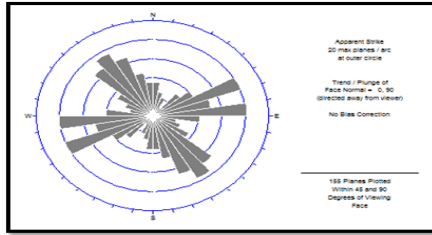
Tegasan utama yang mengarah Timur Laut-Barat Daya di Allu Keke hampir sama dengan tegasan utama di Bontojai, hal ini disebabkan karena adanya Formasi yang sama yaitu Formasi Camba, serta adanya kenampakan kelurusan di kedua daerah penelitian jika dilihat dari lapangan, sementara tegasan utama yang terjadi di Manimbahoi sangat jauh berbeda beberapa derajat dengan kedua daerah penelitian yaitu Allu Keke, dan Bontojai, adanya perbedaan diakibatkan karena perbedaan Formasi, dimana Formasi di Manimbahoi adalah Formasi Batuan Gunungapi Lompobattang, Sementara Formasi di Allu Keke dan Bontojai adalah Formasi Camba. Pengaruh lain selain Formasi dipengaruhi juga oleh tektonik yang berbeda. Pengaruh tektonik yang berbeda di sebabkan Formasi Camba terbentuk pada kala Tersier sementara Formasi Batuan Gunungapi Lompobattang terbentuk pada kala Quarter. Tektonik aktif morfologinya akan berbentuk huruf V (geomorfik muda), tegasannya terlihat banyak dan tidak teratur. Sementara tektonik yang tidak aktif geomorfologinya berbentuk huruf U (geomorfik tua) dengan arah tegasan yang cukup teratur. Geomorfologi daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, serta arah tegasan yang di peroleh pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



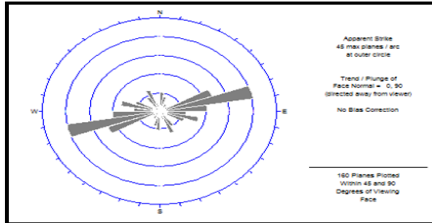
Gambar 5. Morfologi tua



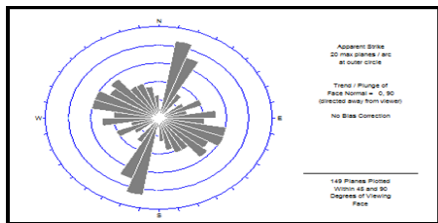
Gambar 6. Morfologi Muda



Gambar 7. Diagram *Rosette* di Allu Keke



Gambar 8 Diagram *Rosette* di Bontojai



Gambar 9. Diagram *Rosette* di Manimbahoi

REFERENSI

- [1] Massinai, Muhammad Altin. 2015. *Geomorfologi Tektonik*. Pustaka Ilmu. Jogyakarta.
- [2] Massinai, Muhammad Altin. 2013. The Role of Morphotectonics in Controlling the Geomorphology of Lengese-Jenelata Watershed, South Sulawesi. *Indonesian Journal of Applied Sciences*. Vol.2 No.1, page:6-9.
- [3] Billings, M.P., 1968, *Structural Geology*, 2nd Edition, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi.
- [4] Riduwan. 2010. *Dasar-Dasar Statistika*. Penerbit Alfabeta, Bandung.
- [5] Davis, John. 1986. *Statistic and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons. Singapore

IV. KESIMPULAN

1. Kekar *non systematic* terdapat di ketiga daerah penelitian sementara kekar *systematic* tidak terdapat di ketiga daerah penelitian. Sementara menurut genetiknya, kekar yang terdapat pada di Allu Keke dan Lengese adalah kekar tarik, kemudian di Bontojai terdiri dari atas dua kekar yaitu kekar tarik dan kekar gerus.
2. Didapatkan data yang berdistribusi normal di Allu Keke, dan Manimbahoi kuadran I-IV, dan Bontojai kuadran I-III. Tidak berdistribusi normal pada kuadran IV.
3. Tegasan Utama di Allu Keke, Bontojai, dan Manimbahoi sama-sama mengarah Timur Laut-Barat Daya

Analisis Pola Spasial dan Kwartal Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai Delta Muara Sungai Saddang Periode 1983-2013

N.R. Palilu^{1*}, Haerany Sirajuddin², Sakka³, dan D.A. Suriamihardja³

¹Mahasiswa Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin.

²Staf Akademik, Jurusan Teknik Geologi, FT, Universitas Hasanuddin

³Staf Akademik, Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*Email: natalia.rismayanti@gmail.com

ABSTRAK

Angkutan sedimen sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang diteliti menggunakan data angin selama 31 tahun, dengan pengelompokan data tahunan per kwartal (010203, 040506, 070809, dan 101112). Penelitian ini bertujuan untuk: (i) menganalisis angkutan sedimen muatan dasar (*bedload*) kwartalan dan spasial; dan (ii) memetakan besar dan arah angkutan sedimen muatan dasar. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel sedimen pada 13 lokasi. Sedimen dianalisis menggunakan ayakan dan timbangan untuk memperoleh diameter dan massa jenis sedimen. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode fluks energi dan arus susur pantai dengan bantuan program bahasa FORTRAN. Input program berupa tinggi ombak pecah (H_b), sudut datang ombak pecah (α_b), kemiringan dasar pantai ($\tan \beta$), dan karakteristik sedimen. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa: (1) angkutan sedimen terbesar terjadi pada kwartal ke-1 dan kwartal ke-4; (2) Pola angkutan sedimen selama 31 tahun menunjukkan bahwa pada wilayah Ujung Lero dominan ke selatan sekitar 3488 m³/hari, Lanrisang-Ujung Tape dominan ke selatan sekitar 1406 m³/hari, Sibodan dominan ke selatan sekitar 6227 m³/hari, Kappe-Datan dominan ke utara sekitar 1254 m³/hari, sedangkan pada Maroneng dominan ke selatan sekitar 2862 m³/hari.

Kata Kunci: angkutan sedimen muatan dasar, arus susur pantai, delta muara, pantai.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pantai merupakan batas kompleks antara tiga medium yaitu darat, udara, dan laut. Sebagai batas antara tiga medium, pantai secara alamiah sangat dinamis. Proses dinamis yang terjadi di pantai merupakan akibat dari kombinasi berbagai gaya yang bekerja di pantai seperti: ombak, arus oleh ombak, gerakan sedimen, angin dan lain lain. Dalam lingkungan pesisir, sedimen bersifat dinamis yang akan mengalami pengikisan, transportasi dan pengendapan dalam skala spasial maupun temporal [20].

Pantai di sepanjang delta muara Sungai Saddang merupakan pantai yang berhadapan langsung dengan perairan Selat Makassar. Sekitar 7 km dari muara Sungai Saddang ke arah utara sampai di Maroneng, Kecamatan Bungi, vegetasi pantai ditumbuhi pohon kelapa dan semak-semak belukar. Wilayah daratan pantai didominasi oleh areal pertambakan dan permukiman. Begitu pula sekitar 21 km ke arah selatan sampai di Ujung Lero, Kecamatan Suppa banyak ditumbuhi vegetasi pohon kelapa dan semak-semak belukar. Wilayah daratan pantai didominasi oleh pusat pemerintahan kota dan kecamatan, pemukiman dan pertambakan.

Delta muara Sungai Saddang membentuk segitiga tidak sama sisi, yaitu 7 km ke arah utara dan 21 km ke arah selatan. Sepanjang pantai diselingi oleh *intake* air laut sebagai suplai ke areal pertambakan baik yang alami (*tidal creek*) maupun buatan berupa kanal-kanal. Keadaan pantai seperti ini mengakibatkan distribusi ombak datang ke garis pantai menjadi bervariasi, ada yang konvergen (menguncup) dan ada pula yang divergen (menyebar). Adanya variasi tinggi ombak sepanjang garis pantai membuat pola arus dan angkutan sedimen juga bervariasi. Pertimbangan ini yang menarik perhatian peneliti untuk melakukan penelitian.

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah menganalisis pola kwartalan dan spasial serta memetakan besar dan arah angkutan sedimen sejajar pantai delta muara Sungai Saddang dengan menggunakan data pola refraksi ombak datang dan arus susur pantai serta data sampel sedimen sebagai input untuk menghitung angkutan sedimen.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis angkutan sedimen muatan dasar kwartalan berdasarkan data selama 31 tahun

- (1983-2013) dengan menggunakan pola refraksi ombak datang dan arus susur pantai di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang.
2. Menganalisis pola spasial angkutan sedimen muatan dasar di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang.
 3. Memetakan besar dan arah angkutan sedimen muatan dasar sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Angkutan Sedimen di Pantai

Pergerakan sedimen pantai atau transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh ombak dan arus yang dibangkitkannya. Mekanisme angkutan sedimen dibagi dalam dua tipe yaitu (Horikawa, 1988):

- a. Angkutan sedimen dasar (*bed load transport*) adalah gerakan material sedimen pada dasar perairan yang terseret oleh arus secara menggelinding, bergeser dan saltasi (mendorong sedimen yang satu dengan yang lainnya). Terjadi pada sedimen yang relatif lebih kasar (seperti pasir, kerikil, kerakal, bongkah) sehingga gaya yang ada pada aliran yang bergerak dapat berfungsi memindahkan partikel-partikel yang besar di dasar.
- b. Angkutan sedimen suspensi (*suspended load transport*) adalah gerak material sedimen melayang yang terhanyut oleh aliran. Umumnya terjadi pada sedimen-sedimen yang sangat kecil ukurannya (seperti lempung) sehingga mampu diangkut aliran air atau angin yang ada.

Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (*Longshore Transport*)

Arah angkutan sedimen di sepanjang pantai dapat berupa angkutan sedimen dari pantai ke laut atau dari laut ke pantai yang dapat terjadi oleh gerakan ombak dan arus balik dasar serta arus tegak lurus pantai. Angkutan sedimen sejajar pantai (*Long shore transport*) yaitu angkutan sedimen sepanjang pantai atau biasa disebut angkutan sedimen sejajar pantai yang berkaitan erat dengan arus menyusuri pantai (Horikawa, 1988).

Angkutan Sedimen Akibat Ombak dan Arus

Menurut Grant (1943) dalam USACE (2003b) angkutan sedimen di pantai merupakan hasil

kombinasi dari angkutan sedimen akibat ombak dan angkutan sedimen akibat arus.

Angkutan Sedimen Akibat Ombak (*Energy Flux Method*)

Potensi angkutan sedimen sejajar pantai tergantung pada kualitas material yang tersedia di pesisir, yang paling berhubungan dengan angkutan sedimen sejajar pantai adalah komponen fluks energi ombak.

$$I_\ell = KP_\ell \quad \text{II.1}$$

Persamaan II.1 merupakan persamaan yang homogen, yaitu secara empiris nilai koefisien K adalah dimensional. Persamaan II.1 sering disebut sebagai "CERC Formula".

$$I_\ell = K(EC_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad \text{II.2a}$$

$$I_\ell = K \left(\frac{\rho g^{3/2}}{8\gamma^{1/2}} \right) H_b^{5/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad \text{II.2b}$$

$$I_\ell = K \left(\frac{\rho g^2}{16\gamma^2} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \quad \text{II.2c}$$

Dalam aplikasi teknik, nilai angkutan sedimen sejajar pantai Q_ℓ memiliki satuan m^3/hari atau $\text{yard}^3/\text{tahun}$. Hubungan antara I_ℓ dan Q_ℓ adalah:

$$I_\ell = (\rho_s - \rho)g(1-n)Q_\ell \quad \text{II.3}$$

$$Q_\ell = \frac{I_\ell}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \quad \text{II.4}$$

Dengan menggunakan persamaan II.1 maka $I_\ell = KP_\ell$ menjadi:

$$Q_\ell = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} P_\ell \quad \text{II.5}$$

Dimana nilai untuk koefisien K yang divariasikan dengan ukuran butir adalah:

$$K = 1.4 e^{-2.5D_{50}} \quad \text{II.6}$$

Jadi persamaan untuk angkutan sedimen akibat ombak adalah:

$$Q_w = K \left\{ \frac{\rho \sqrt{g}}{16\gamma^2(\rho_s - \rho)(1-n)} \right\} H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \quad \text{II.7}$$

Angkutan Sedimen Akibat Arus (*Longshore Current Method*)

Angkutan sedimen oleh arus persamaannya adalah (USACE, 2003b):

$$P_\ell = \frac{\rho g H_b W V_\ell C_f}{\left(\frac{5\pi}{2}\right)\left(\frac{V}{V_0}\right)} \quad \text{II.8}$$

$$\left(\frac{V}{V_0}\right) = 0.2 \left(\frac{Y}{W}\right) - 0.714 \left(\frac{Y}{W}\right) \ln \left(\frac{Y}{W}\right) \quad \text{II.9}$$

Persamaan II.8 disubstitusi kedalam persamaan II.4 sehingga rumus untuk angkutan sedimen akibat arus adalah sebagai berikut:

$$Q_c = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \frac{\rho g H_b W V_\ell C_f}{\left(\frac{5\pi}{2}\right)\left(\frac{V}{V_0}\right)} \quad \text{II.10}$$

Sehingga angkutan sedimen total per hari (m^3/hari) adalah angkutan sedimen akibat ombak

ditambahkan dengan angkutan sedimen akibat arus, sehingga persamaannya menjadi:

$$Q_l = (Q_w + Q_c) \times 3600 \times 24 \quad \text{II.11}$$

Dimana:

Q_l = Angkutan sedimen total (m^3/hari)

Q_w = Angkutan sedimen akibat ombak (m^3/det)

Q_c = Angkutan sedimen akibat arus (m^3/det)

P_ℓ = Potensial angkutan sedimen (N/det)

ρ_s = Massa jenis sedimen (kg/m^3)

ρ = Massa jenis air laut (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi ($9.81 \text{ m}/\text{det}^2$)

γ = Indeks ombak pecah (0.780)

n = Porositas sedimen (0.4)

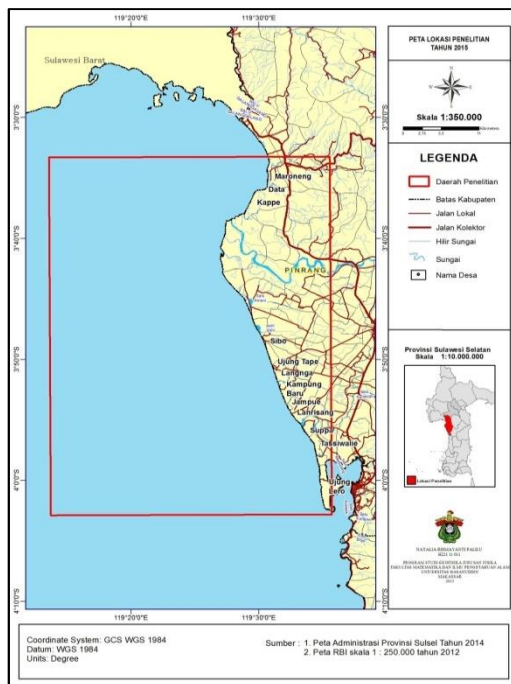
α_b = Sudut ombak pecah (derajat)

H_b = tinggi ombak pecah (m)

III. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang dimulai dari Ujung Lero sampai di Maroneng, Kabupaten Pinrang. Panjang pantai $\pm 30 \text{ km}$ dengan letak geografis yaitu $3^\circ 33' 23.14''\text{S}$ dan $119^\circ 13' 33.62''\text{E}$ sampai $4^\circ 2' 50.09''\text{S}$ dan $119^\circ 35' 43.33''\text{E}$.



Gambar III.1 Peta Lokasi Penelitian.

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari pengukuran di lapangan yaitu data sedimen. Data sekunder terdiri dari data ombak pecah dan batimetri.

Data Sekunder

1 Data Ombak Pecah

Data arah dan kecepatan angin yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari ECMWF (*European Center for Medium-Weather Forecasts*) dan merupakan data angin harian setiap enam jam selama tigapuluh tahun (1983-2013).

Nilai parameter dari data arah dan kecepatan angin yang diperoleh digunakan untuk memperoleh panjang *fetch*. Data kecepatan angin dan *fetch* digunakan untuk mendapatkan ombak laut lepas. Setelah ombak di laut lepas terbentuk oleh angin, maka ombak akan merambat menuju ke pantai dan menimbulkan transformasi ombak. Saat ombak merambat dari laut lepas menuju pantai maka kelancipan ombak semakin meningkat karena pengaruh perubahan kedalaman laut, ketika kelancipan ombak telah mencapai nilai maksimum maka ombak akan pecah sehingga diperoleh data tinggi ombak pecah (H_b), sudut ombak pecah (α_b), dan kedalaman pada saat ombak pecah (h_b). Parameter ombak pecah yang diperoleh akan digunakan sebagai input dalam perhitungan angkutan sedimen.

2. Data Batimetri

Data batimetri merupakan data kedalaman laut yang diperoleh dari *Data General Bathymetric Chart of the Ocean* (GEPCO).

3. Data Arus

Data arus yang digunakan dalam penelitian adalah arus yang dibangkitkan oleh ombak. Perhitungan tinggi ombak pecah, kedalaman saat ombak pecah dan sudut ombak pecah pada setiap titik grid digunakan sebagai input untuk memperoleh kecepatan arus.

Data Primer

1. Data Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dasar pantai dilakukan untuk analisis distribusi ukuran butir dan massa jenis sedimen di lokasi penelitian. Pengambilan sampel di lokasi penelitian dilaksanakan selama 2 hari pada tanggal 10-11 April 2015 di sepanjang pantai Pinrang yang meliputi pengambilan sampel sedimen pantai serta pengambilan data lain yang diperlukan dalam pengolahan dan analisis data. Pengambilan sampel sedimen dasar dilakukan dengan menggunakan alat *Grab Sampler*, sedangkan posisi pengambilan sampel ditentukan dengan

menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Sampel sedimen diambil pada 13 titik lokasi yaitu: Ujung Lero, Tassiwalie, Suppa', Lanrisang, Jampue, Kampung Baru, Langnga Kiri, Langnga Kanan, Ujung Tape, Sibon, Kappe', Data', dan Maroneng. Sampel sedimen yang diambil, kemudian dianalisis di laboratorium untuk memperoleh besar ukuran butir dan massa jenis sedimen.

Analisis Data

1. Data Batimetri

Data DEM yang diperoleh dari *Data General Bathymetric Chart of the Ocean* (GEPCO) diekspor ke excell dan diinterpolasi ke surfer, sehingga diperoleh data batimetri dalam bentuk grid (matriks). Data ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai kemiringan pantai dengan asumsi bahwa batimetri yang diperoleh dianggap tidak mengalami perubahan yang berarti dari tahun 1983-2013.

2. Data Arus

Distribusi kecepatan arus dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan Longuet-Higgins. Persamaan arus susur pantai adalah (Horikawa, 1988):

$$V_L = \frac{5\pi}{16} \frac{\gamma}{C_f} (gH_b)^{\frac{1}{2}} (\tan \beta) \sin \alpha_b \quad \text{III.1}$$

Dimana:

- V_L = Kecepatan arus susur pantai (m/s)
- γ = Indeks ombak pecah
- C_f = Koefisien gesekan dasar pantai
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- k = Karakteristik butiran sedimen (10^{-3}) untuk pantai berpasir
- H_b = Tinggi ombak pecah (m)
- h_b = kedalaman ombak pecah (m)
- α_b = Sudut datang ombak pecah ($^\circ$)
- $\tan \beta$ = Kelandaian pantai ($^\circ$)

Analisis Data Sedimen

1. Ukuran Butir Sedimen

Data sedimen yang diperoleh dari lapangan dianalisis di laboratorium. Pengukuran butiran sedimen dilakukan dengan metode *sieve analyze* dengan menggunakan ayakan. Dasar dari metode ayakan adalah butiran dibagi atas selang-selang kelas yang dibatasi oleh besarnya bukaan lubang ayakan. Bukaan ayakan yang dipakai dalam analisis ini adalah 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.425 mm, 0.3 mm, 0.15 mm, dan sisa dari bukaan 0.15 mm (*Pan*). Sebelum melakukan pengayakan, sampel terlebih dahulu harus

dikeringkan dan ditimbang dengan berat tertentu menggunakan timbangan digital. Berat sampel yang digunakan tiap sampel adalah sama. Selanjutnya sampel dimasukkan pada ayakan yang telah diletakkan ke *sieve shaker*. Analisis ayakandilakukan dalam jangka waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penimbangan berat pada sampel yang tertinggal pada tiap bukaan ayakan.

Selanjutnya, data hasil analisis laboratorium kemudian diolah dengan menggunakan *software Gradistat versi 8.0* untuk mendapatkan nilai diameter sedimen dan parameter statistik ukuran butir lainnya.

2. Massa Jenis Sedimen

Sampel sedimen yang telah kering ditimbang menggunakan timbangan digital dengan berat yang sama. Massa jenis sedimen dihitung dengan cara memasukkan sampel sedimen kedalam gelas volume yang telah berisi air, kemudian dihitung dengan persamaan:

$$\rho = \frac{\text{massa sedimen}}{\text{volume}} \quad \text{III.2}$$

Angkutan Sedimen

Parameter ombak pecah dan parameter sedimen yang telah diperoleh digunakan sebagai input untuk menghitung pola angkutan sedimen. Angkutan sedimen diolah menggunakan program bahasa Fortran dimana persamaan yang digunakan adalah persamaan II.7 dan persamaan II.10, angkutan sedimen total dihitung dengan persamaan II.11.

1. Perhitungan Angkutan Sedimen Kwartal

Angkutan sedimen setiap bulan yang diperoleh dari program dikelompokkan dalam kuartalan atau pengelompokkan setiap tiga bulan yaitu Januari-Februari-Maret, April-Mei-Juni, Juli-Agustus-September, dan Oktober-November-Desember. Menentukan nilai maksimum minimum, dan rata-rata angkutan sedimen yang terjadi selama 31 tahun (1983-2013).

2. Perhitungan Angkutan Sedimen Spasial

Analisis angkutan sedimen spasial dilakukan untuk mengetahui pola distribusi angkutan sedimen di sepanjang pantai selama 31 tahun (1983-2013). Perhitungan angkutan sedimen spasial dilakukan dengan membagi lokasi penelitian menjadi 5 bagian (3 daerah di bagian selatan muara dan 2 daerah di bagian utara muara Sungai Saddang).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sedimen Pantai

Penentuan karakteristik sedimen pantai dilakukan pada 13 titik yang bertujuan mengetahui massa jenis, ukuran butir dan tekstur sedimen di sepanjang pantai lokasi penelitian.

Tabel IV.1 Massa jenis, diameter rata-rata butiran sedimen dan karakteristik butiran sedimen di sepanjang pantai lokasi penelitian.

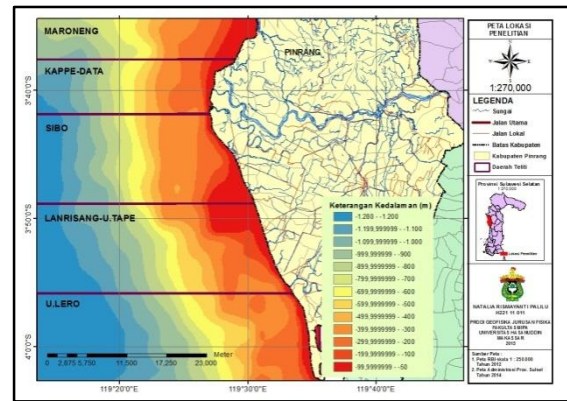
Nomor Stasiun	Nama Lokasi	Massa Jenis (kg/m^3)	D50 (mm)	Karakteristik Sedimen
S1	Ujung Lero	1998	0.16	<i>Fine Sand</i>
S2	Tassiwalie	2475	0.53	<i>Coarse Sand</i>
S3	Suppa	2485	0.39	<i>Medium Sand</i>
S4	Lanrisang	2629	0.76	<i>Coarse Sand</i>
S5	Jampue	2498	0.5	<i>Coarse Sand</i>
S6	Kampung Baru	2483	0.59	<i>Coarse Sand</i>
S7	Langnga Kiri	2499	0.43	<i>Medium Sand</i>
S8	Langnga Kanan	2500	0.38	<i>Medium Sand</i>
S9	Ujung Tape	2629	0.31	<i>Medium Sand</i>
S10	Sibo	2499	0.22	<i>Fine Sand</i>
S11	Kappe	2324	0.23	<i>Fine Sand</i>
S12	Data	2500	0.29	<i>Medium Sand</i>
S13	Maroneng	2499	0.49	<i>Medium Sand</i>

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisis di Laboratorium di 13 titik pengambilan sampel sedimen dasar di pantai delta muara Sungai Saddang memiliki sedimen berjenis pasir dengan rata-rata massa jenis sedimen berkisar antara 1998-2629 kg/m^3 dan diameter ukuran butir berkisar antara 0.16-0.76 mm seperti yang diperlihatkan pada Tabel IV.1.

Angkutan Sedimen Sejajar Pantai

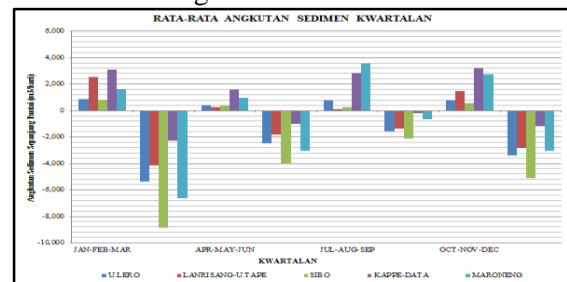
Analisis pola angkutan sedimen dilakukan pada sepanjang pantai yang dibagi menjadi lima daerah seperti yang diperlihatkan pada Gambar IV.1, dimana daerah pertama adalah daerah Ujung Lero, daerah kedua adalah daerah Lanrisang-Ujung Tape, daerah ketiga adalah daerah Sibbo, daerah keempat adalah daerah Kappe-Data, dan daerah kelima daerah Maroneng.



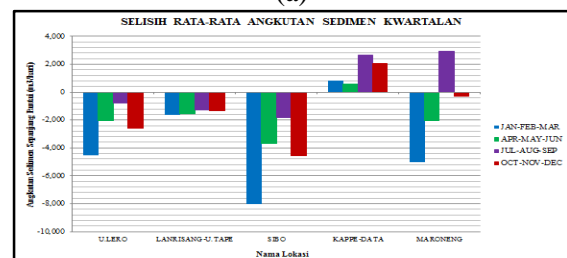
Gambar IV.1 Peta Pembagian Daerah di sepanjang Pantai Delta Muara Sungai Saddang.

Angkutan Sedimen Kwartalan

Pada Gambar IV.2 terlihat bahwa rata-rata angkutan sedimen kwartalan. Secara umum, angkutan terbesar terjadi pada kwartal pertama (Januari-Februari-Maret) dan ke empat (Oktober, November, Desember) dengan rata-rata angkutan sedimen kwartalan terbesar ke selatan terjadi pada daerah Sibbo dan dominan ke utara pada daerah Maroneng.



(a)

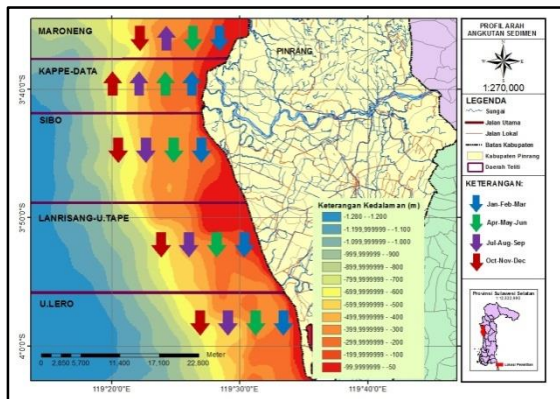


(b)

Gambar IV.2(a) Rata-rata Angkutan Sedimen Kwartalan. (b) Selisih Rata-rata Angkutan Sedimen Kwartalan.

Profil arah rata-rata angkutan sedimen kwartalan ditunjukkan pada Gambar IV.3, pada profil arah tersebut diperlihatkan bahwa pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape dan Sibbo rata-rata angkutan sedimen kwartalan dominan ke selatan, sedangkan pada daerah Kappe-Data arah angkutan sedimen dominan ke utara dan pada daerah Maroneng angkutan sedimen dominan ke selatan kecuali pada kwartal ketiga (Juli-

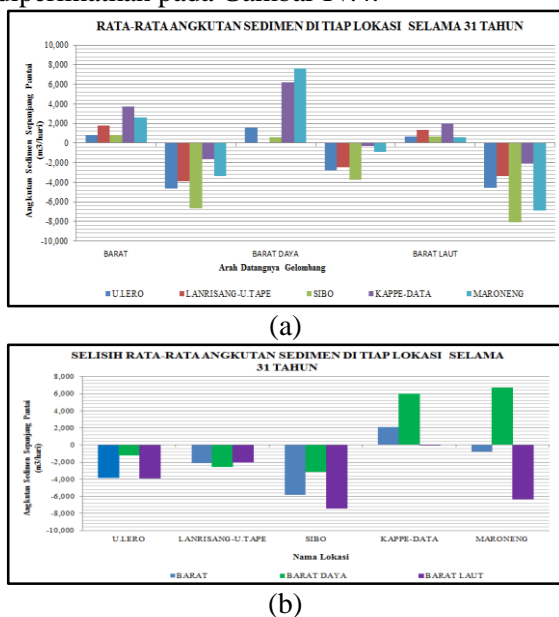
Agustus-September) arah angkutan sedimen dominan ke utara.



Gambar IV.3 Peta Profil Arah Rata-rata Angkutan Sedimen Kwartalan.

Angkutan Sedimen Berdasarkan Arah Datangnya Ombak

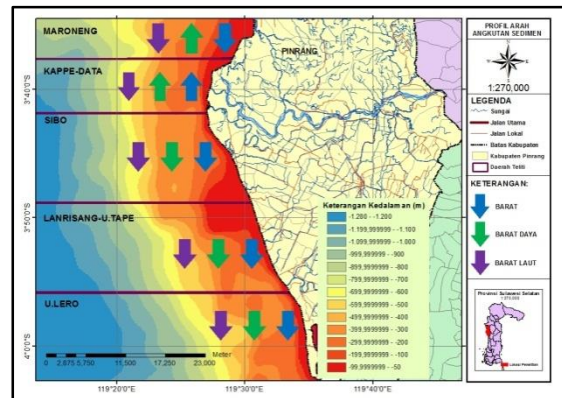
Hasil perhitungan angkutan sedimen di setiap daerah berdasarkan arah datangnya ombak diperlihatkan pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 (a) Rata-rata Angkutan Sedimen. (b) Selisih Angkutan Sedimen Berdasarkan Arah Datang Ombak.

Pada profil arah (Gambar IV.5) tersebut diperlihatkan bahwa pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape dan Sibio rata-rata angkutan sedimen pada saat ombak datang dari barat, barat daya dan barat laut dominan ke selatan, sedangkan pada daerah Kappe-Data arah angkutan sedimen pada saat ombak datang dari barat dan barat daya dominan ke utara sedangkan pada saat ombak datang dari barat laut angkutan sedimen dominan ke selatan. Pada daerah Maroneng pada saat ombak datang dari barat dan barat laut angkutan sedimen dominan

ke selatan, sedangkan pada saat ombak datang dari barat daya angkutan sedimen dominan ke utara.

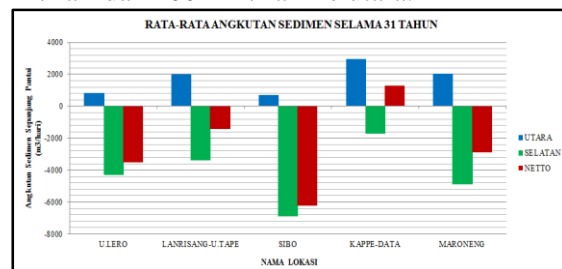


Gambar IV.5 Profil Arah Rata-rata Angkutan Sedimen Selama 31 Tahun Berdasarkan Arah Datang Ombak.

Angkutan Sedimen Spasial

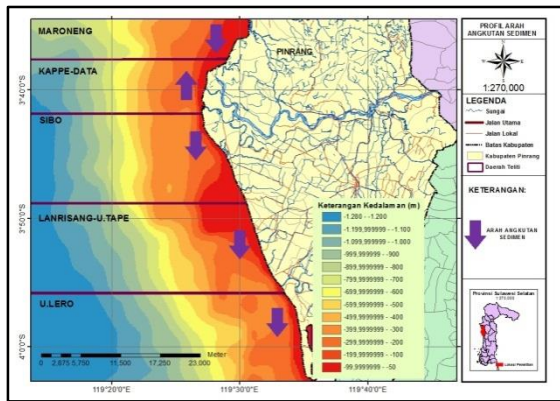
Gambar IV.6 memperlihatkan bahwa di daerah Ujung Lero, rata-rata angkutan sedimen ke selatan yaitu sekitar 4282 m³/hari dan 794 m³/hari ke utara. Pada daerah Lanrisang-Ujung Tape angkutan sedimen ke selatan yaitu 3384 m³/hari dan 1978 m³/hari ke utara. Pada daerah Sibio angkutan sedimen ke selatan yaitu sekitar 6896 m³/hari dan 670 m³/hari ke utara.

Pada bagian utara muara Sungai Saddang di daerah Kappe-Data, rata-rata angkutan sedimen ke utara sekitar 2949 m³/hari dan 1695 m³/hari ke selatan, sedangkan angkutan sedimen pada daerah Maroneng ke selatan sebesar 4864 m³/hari dan 2002 m³/hari ke utara.



Gambar IV.6 Rata-rata Angkutan Sedimen Selama 31 Tahun pada Setiap Daerah Penelitian.

Gambar IV.7 menunjukkan profil arah rata-rata angkutan sedimen selama 31 tahun pada setiap daerah penelitian. Pada gambar tersebut diperlihatkan bahwa pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape, Sibio dan Maroneng angkutan sedimen dominan ke selatan, sedangkan pada daerah Kappe-Data rata-rata angkutan sedimen dominan ke utara. Rata-rata angkutan sedimen terbesar terjadi pada daerah Sibio.



Gambar IV.7 Profil Arah Rata-rata Angkutan Sedimen Selama 31 Tahun pada Setiap Daerah Penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh ombak dan arus dapat disimpulkan bahwa:

1. Pola kwartal angkutan sedimen di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang menunjukkan bahwa pada bulan Januari-Februari-Maret besar angkutan sedimen terbesar terjadi pada daerah Sibo sebesar 8871 m³/hari. Pada bulan April-Mei-Juni angkutan sedimen terbesar terjadi pada daerah Sibo sebesar 4046 m³/hari. Pada bulan Juli-Agustus-September angkutan sedimen terbesar terjadi pada daerah Kappe-Data yaitu sebesar 3555 m³/hari. Pada bulan Oktober-November-Desember angkutan sedimen terbesar juga terjadi pada daerah Sibo sekitar 5128 m³/hari.
2. Perhitungan pola angkutan sedimen selama 31 tahun menunjukkan bahwa pada daerah Ujung Lero, rata-rata angkutan sedimen ke selatan yaitu sekitar 4282 m³/hari dan 794 m³/hari ke utara. Angkutan sedimen rata-rata di daerah Lanrisang-Ujung Tape ke selatan yaitu 3384 m³/hari dan 1978 m³/hari ke arah utara. Pada daerah Sibo, angkutan sedimen ke arah selatan yaitu sekitar 6896 m³/hari dan 670 m³/hari ke arah utara. Pada daerah Kappe-Data angkutan sedimen ke utara sekitar 2949 m³/hari dan 1695 m³/hari ke selatan, sedangkan angkutan sedimen pada daerah Maroneng ke selatan sebesar 4864 m³/hari dan 2002 m³/hari ke utara.
3. Rata-rata angkutan sedimen kwartalan pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape dan Sibo dominan ke selatan, sedangkan pada daerah Kappe-Data arah angkutan sedimen dominan ke utara dan pada daerah Maroneng

dominan ke selatan kecuali pada kwartal ketiga (Juli-Agustus-September) arah angkutan sedimen dominan ke selatan. Angkutan sedimen berdasarkan arah datangnya ombak terlihat bahwa pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape dan Sibo rata-rata angkutan sedimen pada saat ombak datang dari barat, barat daya dan barat laut dominan ke selatan, pada daerah Kappe-Data arah angkutan sedimen pada saat ombak datang dari barat dan barat daya dominan ke utara sedangkan pada saat ombak datang dari barat laut angkutan sedimen dominan ke selatan. Pada daerah Maroneng pada saat ombak datang dari barat dan barat laut dominan ke selatan, pada saat ombak datang dari barat daya angkutan sedimen dominan ke utara. Angkutan sedimen spasial pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape, Sibo dan Maroneng dominan ke selatan sedangkan pada daerah Kappe-Data arah angkutan sedimen dominan ke utara.

Saran

1. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dalam melakukan pengelolaan dan pengembangan pantai pada daerah penelitian.
2. Hasil penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mengetahui perubahan garis pantai dan morfodinamika pantai.
3. Penelitian ini dapat menjadi referensi dasar untuk penelitian yang lebih detail dalam jenjang studi yang lebih tinggi.

REFERENSI

- [1] Horikawa, Kiyoshi. 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*. Japan: University of Tokyo Press.
- [2] USACE (US Army Corps of Engineers). 2003b. *Coastal Sediment Processes*. Part III. Washington DC: Department of the Army. US. Army Corp of Engineers.
- [3] Blott, S. J., dan Pye, K., 2001. *GRADISTAT : A Grain Size Distribution and Statistics Package for The Anaysis of Unconsolidated Sediments*. *Earth Surface Processes and Landforms*. *Earth Surf. Process. Landforms* 26, 1237–1248. London: Royal Holloway University.
- [4] CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. Coastal Engineering Research Center. Washington: US Army.
- [5] Fasrawati. 2008. *Pemodelan Numerik Transfor Sedimen Non-Kohesif*. Skripsi.

- Makassar: Jurusan Fisika, Universitas Hasanuddin.
- [6] Folk, R. L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas: Hemphill Publishing Company.
- [7] Horikawa, Kiyoshi. 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*. Japan: University of Tokyo Press.
- [8] Hutabarat, S., dan S. Evans. 1984. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [9] Nair, L. Sheela., V. Sundar, dan N. P. Kuriana, 2015. *Longshore Sediment Transport along the Coast of Kerala in Southwest India*. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC) Department of Ocean Engineering, IIT Madras, India. Vol. 116, Hal. 40 – 46.
- [10] Kamiran dan Kurniyasari, Endah. 2010. *Pengangkutan Sedimen di Dekat Pantai*. Jurnal. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Poerbondono, dan E. Djunansjah. 2005. *Survey Hidrografi*. Bandung: Refika Aditama.
- [12] Raudkivi. 1976. *Loose Boundary Hydraulics*. England: Pergamon Press.
- [13] Restie dkk. 2013. Studi Perubahan Garis Pantai Wulan Demak Jawa Tengah Menggunakan Pendekatan Model Genesis (*Generalized Model for Simulating Shoreline Change*). J-OCE UNDIP, Vol. 2, Hal. 395-405.
- [14] Rifardi. 2012. *Edisi Revisi Ekologi Sedimen Laut Modern*. Pekanbaru: Universitas Riau Press.
- [15] Sakka dkk. 2011. *Studi Perubahan Garis Pantai di Delta Sungai Jeneberang Makassar*. Jurnal Ilmu Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 3 No.2, Hal. 112-126
- [16] Triatmodjo B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset.
- [17] Umar, Hasdinar *et al*. 2015. *Identification of Coastal Problem and Prediction of Coastal Erosion Sedimentation in South Sulawesi*. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC) Department of Ocean Engineering, IIT Madras, India. Vol. 116, Hal. 125-133
- [18] USACE (US Army Corps of Engineers). 2003b. *Coastal Sediment Processes*. Part III. Washington DC: Department of the Army. US. Army Corp of Engineers.
- [19] Wibisono. 2005. *Pengantar Ilmu Kelautan*. Jakarta: Grasindo.
- [20] Winter, C. 2007. *On the Evaluation of Sediment Transport Models in Tidal Environments*. Journal Sedimentary Geology, Vol. 202, Hal. 562–571.

Analisis Pola Spasio-Temporal Arus Susur Pantai Periode Tahun 1983-2013 di Perairan Pantai Delta Muara Sungai Saddang

Rosyida Fatihah¹, D.A. Suriamihardja² dan Sakka^{2*}

¹Mahasiswa Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin.

²Staf Akademik pada Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, , FMIPA, Universitas Hasanuddin.

*E-mail: sakka.fisika@yahoo.com

ABSTRAK

Arus susur pantai sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang diteliti menggunakan data kecepatan angin selama 31 tahun, dengan pengelompokan data tahunan per kwartal (010203, 040506, 070809, dan 101112). Penelitian ini bertujuan untuk: (i) menganalisis pola arus kwartal dan spatial dengan menggunakan pola refraksi ombak datang; (ii) memetakan besar dan arah arus susur pantai. Metoda analisis menggunakan persamaan Longuet-Higgins pada lima segmen. Hasil penelitian: (1)pola arus terbesar terjadi pada kwartal ke-1(0,581) m/s berarah ke selatan, sedangkan kecepatan arus terendah berarah ke utara terjadi pada kwartal ke-3 (0,260 m/s); (2) ketika ombak datang dari arah barat terjadi kecepatan arus maksimum sebesar 0,581 m/s berarah ke selatan dan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,202 m/s berarah ke utara ; (3) ketika ombak datang dari arah barat daya kecepatan arus maksimum sebesar 0,360 m/s berarah ke utaradan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,139 m/s berarah ke utara. Secara umum pola arus selama 31 tahun arah arus pada wilayah Ujung Lero, Lanrisang, dan Sibodominan keselatan, sedangkan untuk wilayah Kappe-Data dan Maroneng dominan ke utara.

Kata Kunci: arus susur pantai, kecepatan dan arah arus, pantai delta muara Sungai Saddang

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Wilayah pantai merupakan suatu zona yang sangat dinamik karena merupakan zona persinggungan dan interaksi antara udara, daratan dan lautan. Namun Zona pantai senantiasa memiliki proses penyesuaian yang terus menerus menuju ke suatu keseimbangan alami terhadap dampak dari pengaruh eksternal dan internal baik yang bersifat alami maupun campur tangan manusia. Pantai di sepanjang delta Muara Sungai Saddang berhadapan langsung dengan Selat Makassar sehingga mudah diterjang oleh gelombang yang berasal dari Selat Makassar. Akibat hembusan angin musiman yang berganti setiap enam bulan, maka pantai di sepanjang delta Sungai Saddang menerima hempasan gelombang yang berubah-ubah sesuai dengan arah hembusan angin dan akan menyebabkan arah dan besar angkutan sedimen berubah sesuai dengan dinamika hempasan gelombang.

Berbagai kajian dalam dinamika pantai telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, terutamamengenai sirkulasi arus dengan pendekatan analitik, numerik, modeling, ataupun pengukuran di lapangan. Dinamika arus sepanjang pantai dipandang penting untuk diketahui dalam mengantisipasi perubahan garis pantainya. Sehubungan dengan hal tersebut, maka diperlukan suatu penelitian

tentang pola arus yang dibangkitkan oleh gelombang sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang.

Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini ialah menganalisis pola temporal dan spatial arus yang disebabkan oleh ombak di perairan pantai delta muara Sungai Saddang berdasarkan data angin dari ECMWF. Parameter yang digunakan adalah data parameter ombak pecah, data batimetri dan data karakteristik sedimen.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah;

1. Menganalisis pola kwartal arus di perairan pantai Delta Muara Sungai Saddang.
2. Menganalisis pola spatial arus di perairan pantai Delta Muara Sungai Saddang.
3. Memetakan besar dan arah arus susur pantai sepanjang pantai Delta Muara Sungai Saddang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Arus

Arus laut adalah proses pergerakan massa air laut yang menyebabkan perpindahan horizontal dan vertikal massa air laut tersebut yang terjadi secara terus menerus [7]. Berdasarkan proses pembangkitannya, maka kita akan menjumpai

beberapa jenis arus di pantai dan di laut seperti dibawah ini (Wyrki, 1961) :

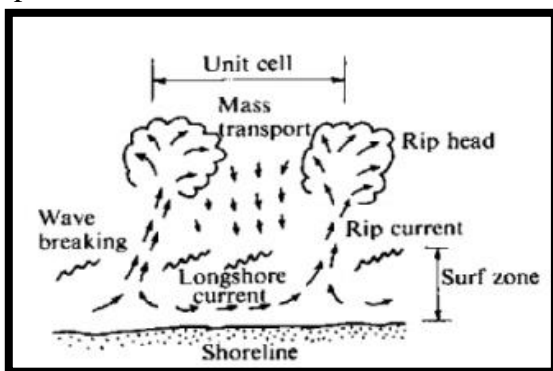
- Arus yang ditimbulkan oleh angin (*wind driven currents*).
- Arus pasang surut (*tidal currents*).
- Arus susur pantai (*longshore currents*).
- Arus yang ditimbulkan oleh perbedaan kerapatan (*density driven currents*).

Arus Dekat Pantai

Gelombang yang menjalar menuju pantai membawa massa air dan momentum. Arah penjalaran gelombang menguncup ke area tanjung, dan menyebar di areal teluk. Kerusakan ombak pecah di pantai mentransfer energi dari ombak kepembangkitan arus-arus pantai dan mengangkat sedimen dari dasar pantai. Selanjutnya, arus yang terbangkit akan menyapu sedimen menjadi angkutan sedimen suspensi.

Coastal current secara umum terdiri dari arus pasang surut (*tidal current*), arus laut dan arus yang dibangkitkan oleh angin. Sedangkan *nearshore current* terdiri dari *longshore current* yang ditimbulkan oleh gelombang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai, *crossshore current* ditimbulkan oleh adanya gelombang yang mengarah secara tegak lurus pantai, arus balik (*rip current*) terjadi akibat perbedaan variasi tinggi gelombang pecah sepanjang daerah dekat garis pantai sehingga mengakibatkan timbulnya gradient.

Pada Gambar 2.1. berikut adalah ilustrasi pola arus di *nearshore*.

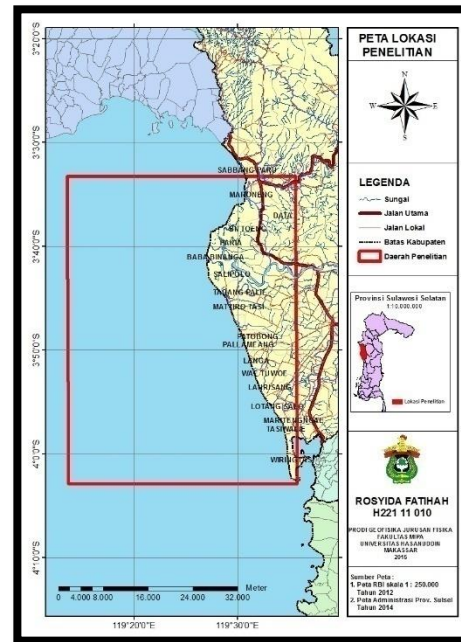


Gambar 2.1 Sistem arus dekat pantai (Horikawa, 1988)

III. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang dimulai dari Ujung Lero sampai di Maroneng, kabupaten Pinrang. Panjang pantai ± 31 km dengan letak geografis yaitu $3^{\circ}33'23.14''$ S dan $119^{\circ}13'33.62''$ E sampai $4^{\circ}2'50.09''$ S dan $119^{\circ}35'43.33''$ E. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

Metode Perolehan Data

1. Data Ombak Pecah

Data arah dan kecepatan angin yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari ECMWF berupa data angin harian setiap enam jam selama tigapuluh tahun (1983-2013). Setelah ombak di laut lepas terbentuk oleh angin kemudian merambat dari laut lepas menuju pantai maka kelancipan ombak semakin meningkat karena pengaruh perubahan kedalaman laut, ketika kelancipan ombak telah mencapai nilai maksimum maka ombak akan pecah sehingga data tinggi ombak pecah (H_b), sudut ombak pecah (α_b), dan kedalaman pada saat ombak pecah (h_b). Parameter ombak pecah yang diperoleh akan digunakan sebagai input dalam perhitungan kecepatan arus.

2. Data Batimetri

Data batimetri merupakan data kedalaman laut yang diperoleh dari GEPCO. Data DEM yang telah didigitasi diexport ke excel sehingga diperoleh data batimetri dalam bentuk grid (matriks), kemudian diinterpolasi ke surfer untuk mendapatkan kontur kedalaman. Data ini akan menjadi input dalam program kecepatan arus untuk mendapatkan kemiringan pantai.

3. Karakteristik Sedimen

Pengukuran butiran sedimen dilakukan dengan metode *sieve analyze* dengan menggunakan ayakan. Data hasil ayakan kemudian diolah dengan menggunakan *software* Gradistatversi 8.0 untuk mendapatkan diameter dari sedimen serta data-data lain yang berhubungan dengan ukuran butir pada setiap sampel yang dianalisis.

Metode Pengolahan Data

1. Analisis Arus

Parameter ombak pecah yang telah diperoleh digunakan sebagai input untuk pola arus yang diprediksi dengan menggunakan persamaan *Longuet-Higgins*. Perhitungan kecepatan arus susur pantai dan koefisien gesekan dasar pantai (C_f) menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2) dilakukan dengan menggunakan bahasa program FORTRAN.

$$V_B = \frac{5\pi}{16} \frac{\gamma}{C_f} (gH_b)^{\frac{1}{2}} (\tan \beta) \sin \alpha_b \quad (3.1)$$

$$C_f = \left[1,74 + 2 \log \left(\frac{h_b}{k} \right)^{-2} \right] \quad (3.2)$$

Dimana,

V_B = Kecepatan arus sejajar pantai (m/s)

γ = Indeks ombak pecah

C_f = Koefisien gesekan dasar pantai

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

k = Karakteristik butiran sedimen (10^{-3}) untuk pantai berpasir

H_b = Tinggi ombak pecah (m)

h_b = Kedalaman saat ombak pecah (m)

α_b = Sudut datang ombak pecah ($^\circ$)

$\tan \beta$ = Kelandaian pantai ($^\circ$)

2. Perhitungan Arus Kwartal

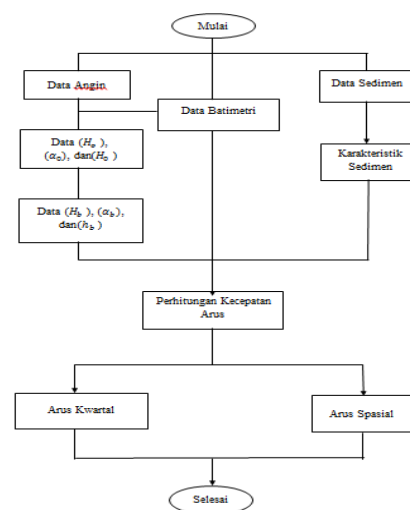
Kecepatan arus setiap bulan yang diperoleh dari program dikelompokkan dalam kwartalan atau pengelompokkan setiap tiga bulan yaitu JFM (Januari, Februari, dan Maret), AMJ (april, Mei, dan Juni), JAS (Juli, Agustus, dan September), OND (Oktober, November, dan Desember).

3. Memetakan Arus Spatial

Pola distribusi kecepatan arus spatial di sepanjang pantai dilakukan dengan membagi daerah pantai menjadi lima segmen, yaitu tiga segmen di daerah selatan muara dan dua segmen di daerah utara muara.

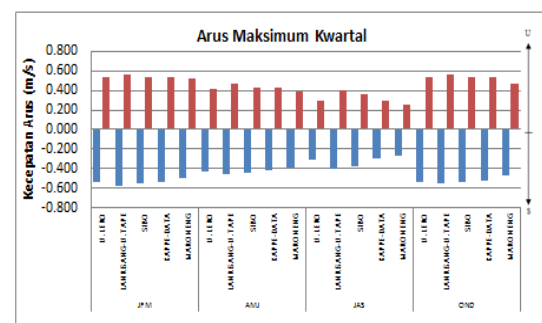
Kecepatan arus maksimum dan rata-rata spatial pada lima segmen selama 31 tahun (1983-2013) digambarkan berdasarkan arah arus yang terhempas di pinggir pantai.

Bagan Alir



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Arus Kwartal

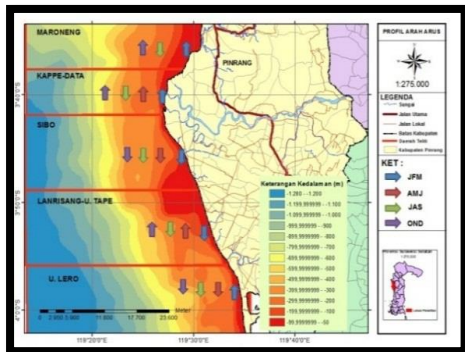


Gambar 4.1 (a) Arus maksimum kwartal.

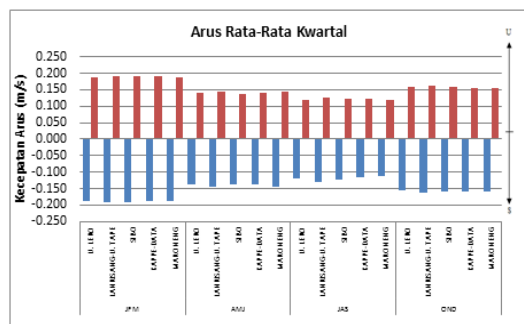
Berdasarkan Gambar 4.1 terlihat pola arus maksimum kwartal, nilai arus maksimum terbesar terjadi pada kwartal pertama dengan kecepatan arus 0,581m/s ke arah selatan di daerah Lanrisang-Ujung Tape dan kwartal keempat dengan kecepatana arus 0,558m/s ke arah utara di daerah Lanrisang- U.Tape.

Kecepatan arus terendah terjadi pada kwartal kedua dengan kecepatan arus 0,411m/s ke

selatan pantai di daerah Kappe-Data dan ketiga dengan kecepatan arus 0,260m/s ke arah utara pantai di daerah Maroneng. Profil arah arus maksimum pada setiap kwartal bulanditunjukkan pada Gambar 4.2.



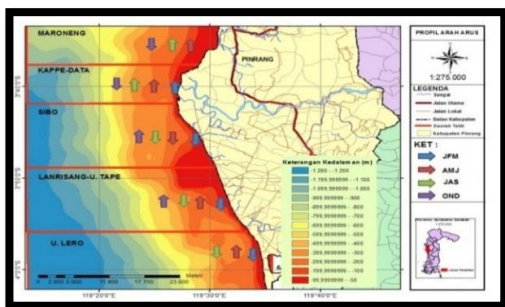
Gambar 4.5 Profil arah arus maksimum kwartal setiap daerah selama 31 tahun.



Gambar 4.6 Kecepatan arus rata-rata kwartal

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat pola arus rata-rata kwartal, nilai arus kwartal terbesar terjadi pada kwartal pertama dengan kecepatan arus 0,193m/s ke arah selatan di daerah Lanrisang-Ujung Tape dan kwartal keempat dengan kecepatana arus 0,159m/s ke arah utara di daerah Sibo.

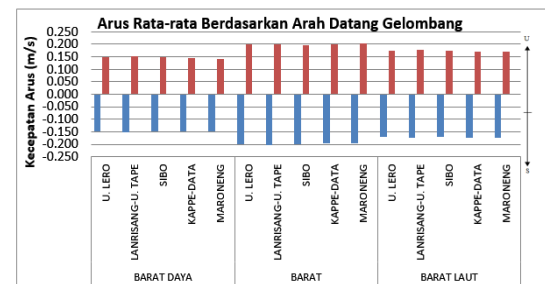
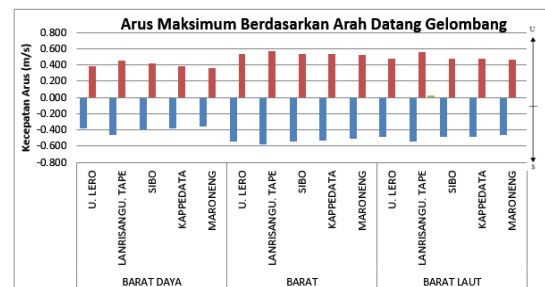
Kecepatan arus terendah terjadi pada ketiga di Lanrisang-Ujung Tape (0,131m/s) ke arah utara pantai Profil arah arus maksimum pada setiap kwartal bulan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Profil arah arus rata-rata kwartal di setiap daerah selama 31 tahun.

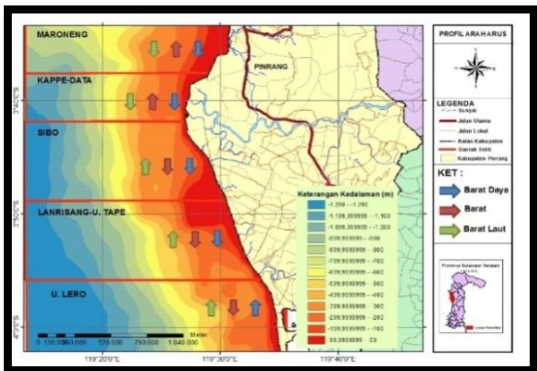
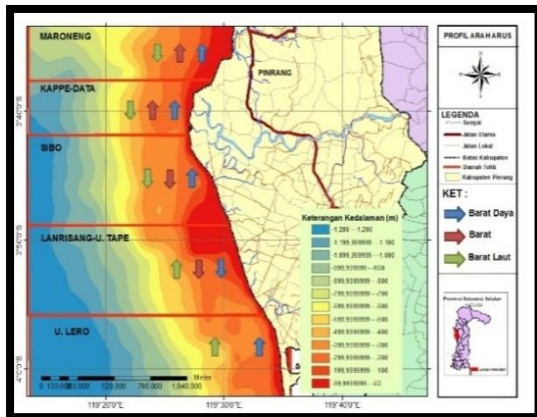
Arus berdasarkan arah datang gelombang

Berdasarkan data angin yang diperoleh menunjukkan pola arus maksimum dan rata-rata berdasarkan arah datang gelombang yang terbesar terjadi dari arah barat dengan kecepatan arus maksimum 0,581 m/s dan rata-rata arus 0,202 m/s. Kecepatan arus terendah terjadi pada saat gelombang datang dari arah barat daya dengan kecepatan arus maksimum 0,360 m/s dan kecepatan arus rata-rata yaitu 0,139 m/s yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kecepatan arus maksimum dan arus rata-rata berdasarkan arah datang gelombang.

Profil arah kecepatan arus maksimum dan rata-rata berdasarkan arah datang gelombang dapat dilihat pada Gambar 4.9

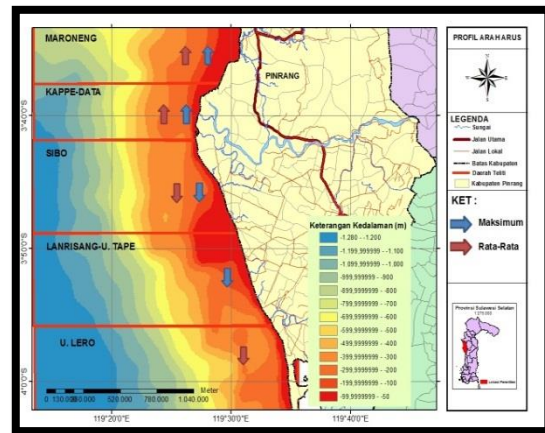


Gambar 4.9 Profil arah arus maksimum dan rata-rata berdasarkan arah datang gelombang

Arus Spatial

hasil perhitungan pola arus selama 31 tahun menunjukkan bahwa arah arus pada daerah Ujung Lero, Lanrisang, dan sibo lebih besar kearah selatan pantai dengan kecepatan arus maksimum 0,537 m/s, 0,581 m/s, dan 0,546 dan kecepatan arus rata-rata 0,152 m/s, 0,157, dan 0,153 m/s.

Sedangkan untuk daerah KappeData dan Maroneng lebih besar kearah utara pantai dengan kecepatan arus maksimum 0,536 m/s dan 0,524 m/s dan kecepatan arus rata-rata 0,152 m/s dan 0,152 m/s. arah arus selama 31 tahun di setiap daerah ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Profil arah arus di setiap daerah selama 31 tahun (1983-2013).

V. PENUTUP

Kesimpulan

Dari perhitungan arus sejajar pantai yang dibangkitkan oleh gelombang, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pola kwartal arus maksimum dan rata-rata memiliki nilai yang tinggi pada kwartal pertama, sedangkan kecepatan arus yang rendah pada arus maksimum dan arus rata-rata berada pada kwartal ketiga
2. Perhitungan pola arus selama 31 tahun menunjukkan bahwa arah arus pada daerah Ujung Lero, Lanrisang, dan sibo memiliki kecepatan arus maksimum 0,537 m/s, 0,581 m/s, dan 0,546 dengan kecepatan arus rata-rata 0,152 m/s, 0,157, dan 0,153 m/s. Sedangkan untuk daerah Kappe-Data dan Maroneng memiliki kecepatan arus maksimum 0,536 m/s dan 0,524 m/s dan kecepatan arus rata-rata 0,152 m/s dan 0,152 m/s.
3. Arah arus maksimum dan rata-rata selama 31 tahun pada daerah Ujung Lero, Lanrisang-Ujung Tape, dan Sibodominan menuju selatan pantai sedangkan daerah Kappe-Data dan Maroneng dominan menuju utarapantai.

Saran

1. Pada penelitian ini hanya dilakukan perhitungan kecepatan arus yang dibangkitkan oleh gelombang di sepanjang pantai Delta muara Sungai Saddang. Sebaiknya dapat dilanjutkan dengan menggunakan gaya pembangkit yang lain.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mengetahui morfodinamika pantai yang di sebabkan oleh angin.

REFERENSI

- [1] Horikawa, Kiyoshi. 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*. Japan: University of Tokyo Press.
- [2] Triatmodjo B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset. Yogyakarta.
- [3] CERC, 2001. "Coastal Engineering Manual EM 1110-2-1100 (Part VI)", Departement of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington
- [4] Dahuri.R.. 2004. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Penerbit PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- [5] Danial,Mochammad Meddy 2008. *Rekayasa Pantai*.
- [6] Dean, Robert G., and Robert A. Dalrymple. *Coastal Processes*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [7] Gross, M.G., 1990. *Oceanography*. ed. 6th. MacmillanPublishing Company, New York.
- [8] Horikawa. K. 1988. *Nearshore Dynamics nad Coastal Processes*. University of Tokyo Press. Japan. Alfabeta. Pontianak.
- [9] Hutabarat, S. dan S.H Evans. 1985. *Pengantar Oseanografi*. UI press. Jakarta.
- [10] Komar.D.P.1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall.Inc..Englewood Sliffs.new Jersey.
- [11] Kurniawan, Mujib 2004. *Studi Fluktuasi Arus Permukaan Frekuensi Rendah (Low Frequency) Di Perairan Utara Papua Pada Bulan Oktober 2001-Agustus 2002*. Skripsi. Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- [12] Longuet-Higgins, M. S., 1970, Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 2. J. Geophysical Research, Vol. 75, no. 33, pp. 6790-6801.
- [13] Pethick, J., 1984, *An Introduction Geomorphology*, Cahpman and Hall, USA
- [14] Pinet PR. 1992. *Oceanography, an introduction to the planet oceanus*. West Publishing Company, United States of America. 571p.
- [15] Shepard, F.P., and D.L. Inman (1950). *Nearshore water circulation related to bottom topography and wave refraction: Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 31, pp. 196-212.
- [16] Song, J. Il and Woo, S.-B., 2015. *Study on Variability of Residual Current and Salinity Structure According to River Discharge at the Yeoungsan River Estuary, South Korea*. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC) Department of Ocean Engineering, IIT Madras, India. Vol. 116, p 1002-1008.
- [17] Triatmodjo B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset. Yogyakarta.
- [18] Umar, Hasdinar *et al.*, 2015. *Identification of Coastal Problem and Prediction of Coastal Erosion Sedimentation in South Sulawesi*. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC) Department of Ocean Engineering, IIT Madras, India. Vol. 116, p 125-133.

Analisis Karakteristik Ombak Perairan Pantai Delta Muara Sungai Saddang Periode 1983-2013

Alexander Kondo,¹ Sakka,^{2*} dan D.A. Suriamihardja²

¹Mahasiswa Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin.

² Staf Akademik pada Prodi Geofisika, Jurusan Fisika, , FMIPA, Universitas Hasanuddin.

*E-mail: sakka.fisika@yahoo.com

ABSTRAK

Dinamika ombak datang di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang diteliti menggunakan data kecepatan angin selama 31 tahun, dengan pengelompokan data tahunan per kwartal (010203, 040506, 070809, dan 101112). Penelitian ini bertujuan: membagi medan angin dan ombak menurut arah barat laut, barat, dan barat daya; memetakan pola refraksi orthogonal ombak; mendistribusikan: tinggi ombak (H_b), sudut datang ombak (α_b), dan kedalaman air (h_b) ketika ombak pecah. Perhitungan tinggi dan arah ombak laut lepas dan transformasi ombak menggunakan metode *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Medan angin dominan berasal dari arah barat dan barat laut; Tinggi ombak laut lepas dan Nilai H_b terbesar pada akhir kwartal ke-4 sampai kwartal ke-1 terutama di wilayah Sibero, terkecil pada kwartal ke-3 di wilayah Maroneng; nilai α_b terbesar pada pertengahan kwartal-1 dan akhir kwartal ke-3 di wilayah Lanrisang-Ujung Tape, terkecil pada pertengahan kwartal ke-2, awal kwartal ke-3, dan pertengahan kwartal ke-4; nilai h_b terbesar pada kwartal ke-1 sampai awal kwartal ke-2 di wilayah Lanrisang-Ujung Tape, terkecil pada kwartal ke-3 di wilayah Maroneng.

Kata kunci: medan angin, medan ombak, pola refraksi, kerusakan ombak

I. PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang karakteristik ombak yang dibangkitkan oleh angin merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting dalam perencanaan bangunan pantai, dimana data ombak dalam waktu yang panjang sangat diperlukan [5].

Namun demikian pada beberapa tempat data ombak hasil pengukuran di lapangan dalam waktu panjang biasanya tidak tersedia sehingga perlu untuk melakukan prediksi ombak dengan menggunakan data angin.

Sampai saat ini telah dikembangkan beberapa metode prediksi ombak di laut lepas, seperti metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB), Wilson, JONSWAP, Donelan dan Coastal Engineering Manual (CEM) [5].

Metode tersebut telah digunakan dan diuji ketelitiannya di berbagai tempat seperti metode SMB telah digunakan oleh U.S. Army dan British Standard, metode Wilson telah digunakan di pelabuhan Jepang. Metode Donelan, SMB dan JONSWAP telah digunakan dan dievaluasi di Ontario, metode CEM juga digunakan dan dievaluasi di Ontario untuk kondisi *fetch* terbatas [4]. Pantai di sepanjang pantai delta Sungai Saddang berhadapan langsung dengan Selat Makassar sehingga mudah diterjang oleh ombak yang berasal dari Selat Makassar. Akibat hembusan angin musiman yang berganti setiap

enam bulan, maka pantai di sepanjang pantai delta Sungai Saddang menerima hembusan ombak yang berubah-ubah sesuai dengan arah hembusan angin dan akan menyebabkan arah dan besar angkutan sedimen berubah sesuai dengan dinamika hembusan ombak. Penelitian ini memetakan medan angin dan medan gelombang serta menggambarkan bathimetri perairan pantai dengan pola refraksi ombak pada perairan pantai.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

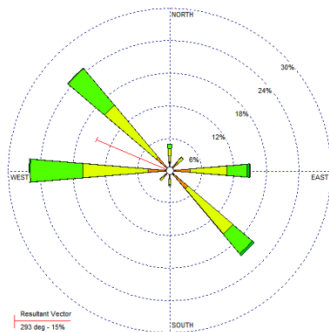
Penelitian ini dilaksanakan di sepanjang pantai delta muara Sungai Saddang Kabupaten Pinrang dengan panjang pesisir pantai sekitar 30 km. Dimulai dari 3° 33'23.14"S dan 119°13'33.62"E sampai 4°02'50.09"S dan 119°35'43.33"E.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Medan Angin

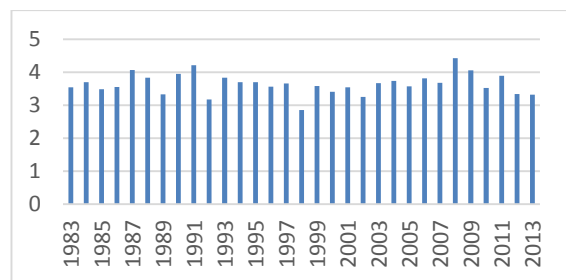
Karakteristik angin di perairan pantai Kabupaten Pinrang disajikan pada gambar 2. Hasil analisis data angin harian maksimum selama tigapuluh satu tahun (1983-2013) menunjukkan bahwa arah angin dominan berasal dari arah Barat Laut menyusul dari Barat dan Tenggara.

Persentase angin tertinggi sebesar 47,8% pada interval kecepatan angin 7-11 knot, diikuti oleh 28,0% pada interval kecepatan angin 11-17 knot., 16,2% pada interval kecepatan angin 4-7 knot, 6,5 pada interval kecepatan angin 1-4 knot, 1,3% pada interval kecepatan angin 17-21 knot, dan 0,2% pada interval keceootan angin ≥ 22 knot.



Gambar 2. Mawar Angin Periode 1983 - 2013

Secara keseluruhan, data angin selama tigapuluh satu tahun memiliki tahun dimana kecepatan angin berada pada posisi maksimal. Jika digambarkan dalam histogram maka akan terlihat seperti gambar IV.3.



Gambar 3. Rata-rata Kecepatan Angin Periode 1983 - 2013

Tahun dimana terjadinya tinggi maksimal kecepatan angin ternyata juga merupakan tahun terjadinya fenomena *La Nina*. Contohnya adalah pada tahun 1983, 1984, 1985, 1988, 1999, 2000, 2007, 2010 dan 2011 merupakan tahun dimana kecepatan angin tinggi dan merupakan tahun dimana terjadinya fenomena *La Nina*.

Medan Ombak

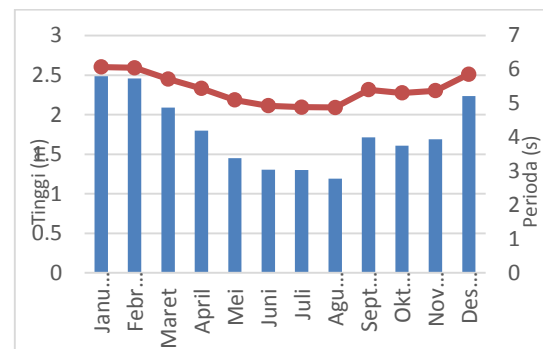
Pada penelitian ini *fetch* yang dapat membangkitkan ombak berasal dari arah barat laut, barat dan barat daya. Sedangkan *fetch* yang

berasal dari utara, timur laut, timur, tenggara dan selatan tidak diperhitungkan karena tidak membangkitkan ombak.

Tabel 1. Panjang *Fetch* Efektif

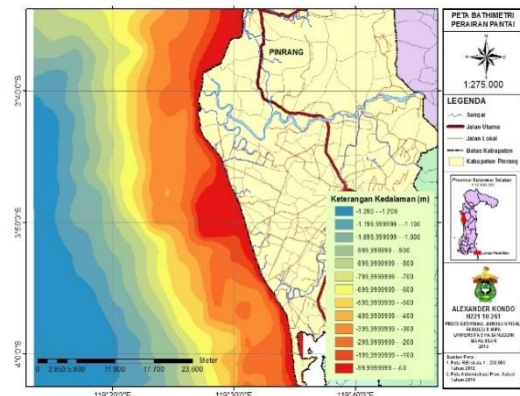
Arah	Barat Daya	Barat	Barat Laut
F_{eff} (m)	200.000	200.000	176.000

Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tinggi ombak berkorelasi positif dengan periode ombak. Jika tinggi ombak besar maka periode ombak juga ikut besar, begitupun sebaliknya. Kecepatan angin dan panjang *fetch* juga berkorelasi positif dengan tinggi dan periode ombak.



Gambar 4. Tinggi dan Periode Ombak

Bathimetri Perairan Pantai



Gambar 5. Bathimetri

Gambar 5 memperlihatkan kontur bathimetri daerah penelitian. Dari peta bathimetri ini terlihat bahwa pada kedalaman -99 – -50 m kontur masih mengikuti garis pantai namun demikian di bagian utara dan bagian selatan muara Sungai Saddang terdapat bagian yang cukup luas. Kontur mulai terlihat kacau pada kedalaman -299 – -200 m terlebih pada bagian selatan kontur. Mulai pada kedalaman -699 – -600 m kontur tidak lagi mengikuti bentuk pantai. Dari bathimetri

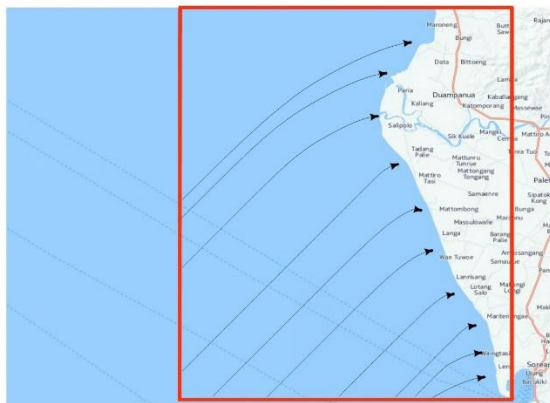
iniilah dilakukan perhitungan untuk refraksi ombak

Transformasi Ombak

Pola transformasi disesuaikan dengan kondisi bentuk pantai dan arah angin yang dapat membangkitkan ombak pada lokasi penelitian. Pola transformasi ini dihasilkan dari model yang dibuat dalam program *Fortran* yang divisualisasikan dalam bentuk gambar dengan program Microsoft Office Visio.

Transformasi ombak disimulasikan menggunakan ombak dari arah barat daya (225°) dengan tinggi ombak laut lepas 3.31 m, dari arah barat (265°) dengan tinggi ombak laut lepas 5.77 m, dari arah barat laut (315°) dengan tinggi ombak laut lepas 5.23 m.

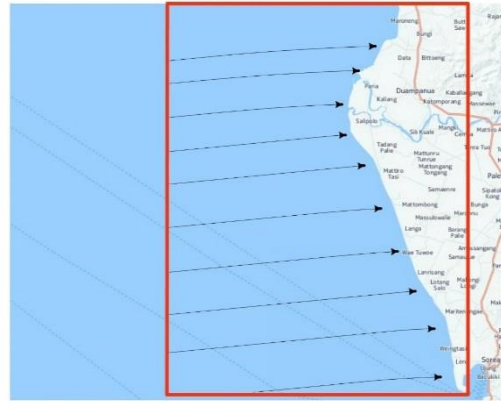
Gambar 6 menunjukkan transformasi ombak dengan arah angin dari barat daya, dimana arah ombak menjalar dari barat daya menuju pantai. Pembelokan arah perambatan ombak terjadi ketika mendekati garis pantai, hal ini disebabkan oleh refraksi dan pendangkalan.



Gambar 6. Pola Transformasi Ombak dari Arah Barat Daya

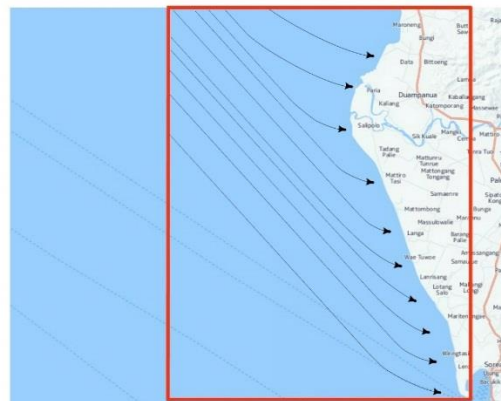
Transformasi ombak dengan arah angin dari barat juga memperlihatkan hal yang serupa seperti pada gambar 7. ombak yang merambat dari laut lepas menuju pantai mengalami perubahan tinggi dan arah yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan. Mula-mula tinggi ombak pada laut dalam tetap, namun ketika mendekati garis pantai ombak mulai tidak stabil, arah dan tinggi ombak mulai berubah tak menentu tergantung dari kedalaman laut, semakin dalam maka tinggi ombak semakin besar sedangkan arah ombak cenderung mengikuti profil pantai. Pada daerah penelitian, kedalaman laut langsung curam setelah garis pantai yang mengakibatkan gambar

arah rambat ombak seperti tidak berbelok pada saat mendekati garis pantai.



Gambar 7. Pola Transformasi Ombak dari Arah Barat

Transformasi ombak dengan arah angin dari barat laut pada gambar 8 memperlihatkan hal yang serupa. Ombak yang merambat dari laut lepas menuju pantai akan mengalami perubahan tinggi dan arah yang disebabkan oleh proses refraksi akibat pendangkalan kedalaman laut, sehingga panjang kecepatan ombak kecil serta bertambahnya ombak.

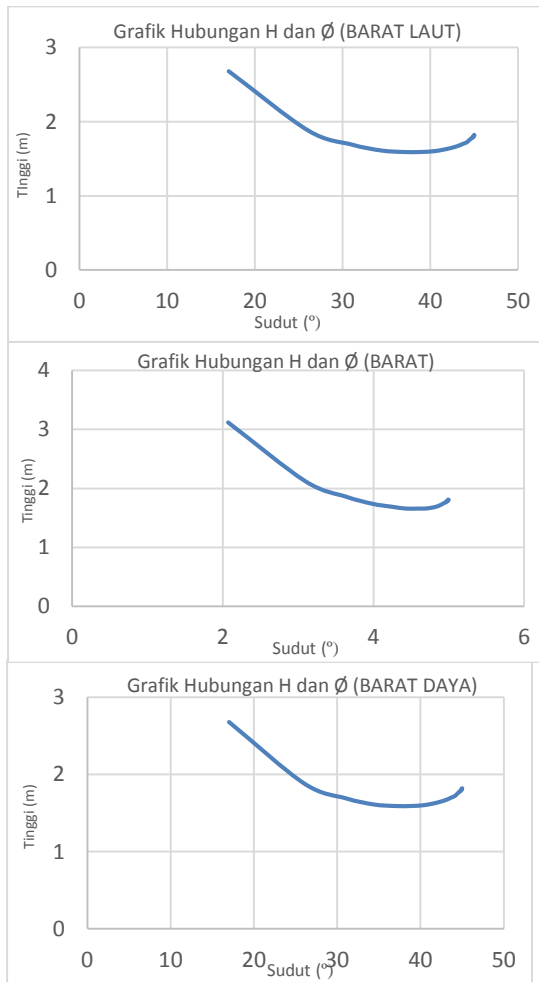


Gambar 8. Pola Transformasi Ombak dari Arah Barat Laut

Pada saat ombak merambat dari laut lepas menuju pantai, tinggi ombak tersebut mula-mula mengalami penurunan di perairan transisi dan di perairan yang sangat dangkal tinggi ombak membesar secara perlahan sehingga mencapai titik maksimum saat ombak pecah.

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan sudut dan tinggi ombak sesaat sebelum pecah. Dimana ketika tinggi ombak semakin besar maka sudut ombak semakin kecil dan akhirnya pecah.

Pada gambar 9 terlihat bahwa ombak pecah terjadi pada saat sudut terkecil dengan tinggi ombak terbesar. Ombak pecah dari arah barat laut terjadi pada saat tinggi 2.68 m dengan sudut 17.01° . Dari arah barat ombak pecah terjadi saat tinggi 3.12 m dan sudut 2.07° . Sedangkan dari arah barat daya ombak pecah terjadi pada saat tinggi 2.68 m dan sudut 17.01° .



Gambar 9. Grafik Hubungan Tinggi dan Sudut Ombak

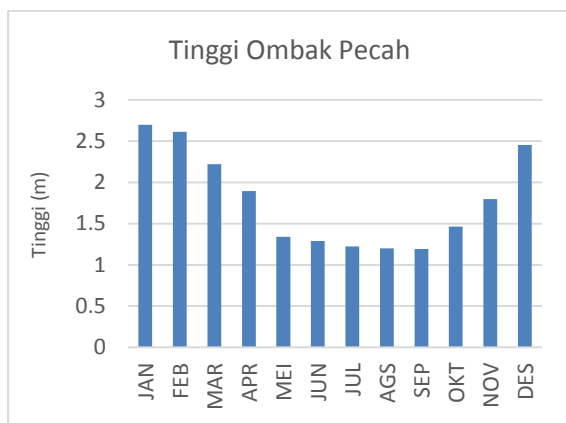
Gambar 10 menunjukkan bahwa ombak yang bergerak dari laut lepas menuju ke pantai mengalami perubahan tinggi karena adanya perubahan kedalaman laut. Pada saat ombak memasuki perairan dangkal, puncak ombak menjadi semakin tajam hingga pada satu kedalaman tertentu puncak ombak menjadi semakin tajam sehingga tidak stabil dan pecah.



Gambar 10. Perubahan tinggi ombak dari laut lepas sampai pada saat pecah

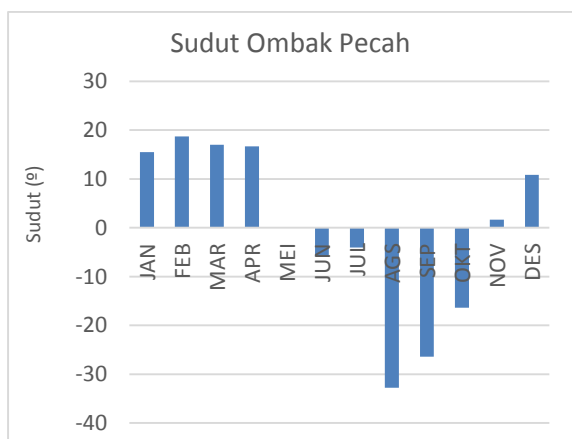
Lokasi 1 pada Gambar 10 berada pada bagian utara lokasi penelitian sekitar daerah Maroneng. Lokasi 2 berada pada bagian pertengahan lokasi penelitian sekitar daerah Sibolga. Lokasi ke 3 berada pada bagian selatan lokasi penelitian sekitar daerah Ujung Lero. Ombak pada Lokasi 1 mengalami pecah ombak pada saat berada pada titik 5.7 m ($H_0 = 1.81$ m), 2.7 m ($H_0 = 1.01$ m) dan 1.4 m ($H_0 = 0.59$ m). Pada Lokasi 2 ombak mengalami pecah ombak pada saat berada pada titik 5.3 m ($H_0 = 1.81$ m), 2.5 m ($H_0 = 1.01$ m) dan 1.3 m ($H_0 = 0.59$ m). Sedangkan lokasi 3 ombak pecah pada titik 5.7 m ($H_0 = 1.81$ m), 2.7 m ($H_0 =$

1.01 m) dan 1.4 m ($H_0 = 0.59$ m). Garis 0 pada Gambar IV.13 menunjukkan bahwa ombak telah mencapai bibir pantai. Hasil perhitungan tinggi ombak pecah dan sudut ombak pecah diperlihatkan pada gambar 11 dan 12. Hasil perhitungan tinggi dan sudut ombak pecah dikelompokkan tiap bulan untuk melihat perbedaan tinggi dan sudut ombak pecah tiap-tiap bulan. Gambar 11 menunjukkan rata-rata perbulan tinggi ombak pecah. Terlihat bahwa tinggi ombak pecah mencapai puncaknya pada saat bulan Januari (2.69 m) lalu disusul pada bulan Februari (2.61 m) dan bulan Desember (2.45 m). Sedangkan tinggi ombak pecah terendah terjadi pada bulan September (1.19 m) lalu bulan Agustus (1.19 m) dan bulan Juli (1.22 m).



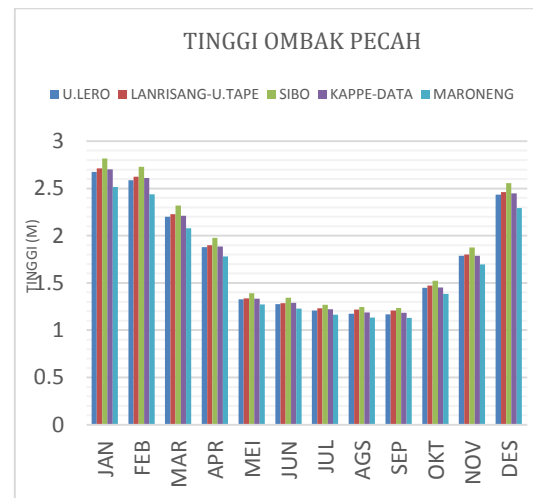
Gambar 11. Tinggi Ombak Pecah

Pada Gambar 12, terlihat rata-rata perbulan besar sudut ombak pecah. Sudut terjauh berada pada bulan Agustus (-32.78°), lalu bulan September (-26.43°), dan bulan Februari (18.71°). Sedangkan sudut terkecil berada pada bulan Mei (0.07°), lalu bulan Juli (-4.06°), dan bulan Juni (-5.82°).



Gambar 12. Sudut Ombak Pecah

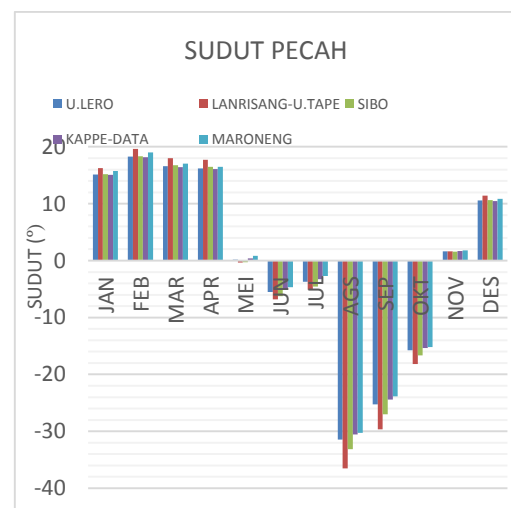
Data tinggi ombak pecah dibagi berdasarkan lokasi dengan 5 lokasi berbeda menghasilkan histogram seperti pada gambar 13 dibawah ini,



Gambar 13 Tinggi Ombak Pecah Pada Setiap Lokasi

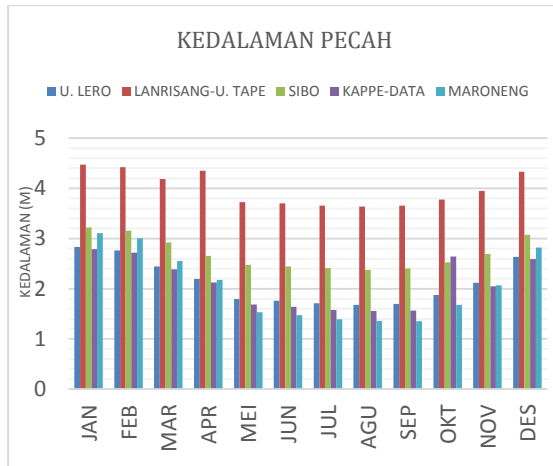
Dari gambar 13 dapat disimpulkan bahwa tinggi ombak pecah terbesar berada pada daerah Sibolga dan daerah Lanrisang – Ujung Tape. Sedangkan daerah Kappe – Data dan Maroneng merupakan daerah dengan tinggi ombak pecah terkecil.

Jika dikelompokkan berdasarkan lokasi maka rata-rata perbulan besar sudut ombak pecah akan menjadi seperti pada gambar 14



Gambar 14 Sudut Ombak Pecah Pada Setiap Lokasi

Dari gambar 14 terlihat bahwa sudut ombak pecah terbesar terjadi pada daerah Lanrisang – Ujung Tape lalu disusul daerah Sibolga. Sudut ombak pecah terkecil terjadi pada daerah Kappe – Data dan daerah Maroneng.



Gambar 15 Kedalaman Air Dimana Ombak Pecah Pada Setiap Lokasi

Gambar 15 memperlihatkan kedalaman ombak disaat pecah tiap bulan di setiap lokasi. Kedalaman ombak pecah terbesar berada pada daerah Lanrisang – Ujung Tape kemudian daerah Sibo di setiap bulan. Kedalaman terendah berada pada daerah Maroneng dan Kappe – Data.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

1. Hasil analisis data angin harian maksimum selama tigapuluh satu tahun menunjukkan bahwa arah angin dominan berasal dari arah Barat menyusul dari Barat Laut dan Tenggara.
2. Tinggi ombak laut lepas terbesar berada pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan tinggi maksimal terjadi pada bulan Januari. Sedangkan tinggi ombak laut lepas terkecil berada pada bulan Juni, Juli dan Agustus dengan tinggi minimum pada bulan Agustus. Periode ombak laut lepas terbesar berada pada bulan Januari, Februari dan Desember dengan bulan Januari sebagai bulan dengan periode ombak laut lepas terbesar. Sementara bulan dengan periode ombak laut lepas terkecil berada pada bulan Juni, Juli dan Agustus dengan periode minimum berada pada bulan Agustus.
3. Dari peta bathimetri terlihat bahwa pada kedalaman -99 – -50 m kontur masih mengikuti garis pantai namun demikian di bagian utara dan bagian selatan muara Sungai Saddang terdapat bagian yang cukup luas. Kontur mulai terlihat kacau pada kedalaman -299 – -200 m terlebih pada bagian selatan kontur. Mulai pada

kedalaman -699 – -600 m kontur tidak lagi mengikuti bentuk pantai.

4. Pola transformasi ombak dari arah Barat Laut dan Barat Daya memperlihatkan dengan jelas pembelokan refraksi yang terjadi dari laut lepas menuju pantai, sedangkan pola transformasi ombak dari arah barat tidak terlalu jelas memperlihatkan pembelokan refraksi karena pembelokan yang sangat kecil.

Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari penelitian ini disarankan untuk menggunakan program pengolah data yang lain agar dapat memperkaya hasil penelitian.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menggunakan model dua dimensi.

REFERENSI

- [1] Azis, M. Furqon. 2006. *Gerak Air Dilaut*. Oseana, Volume XXXI, Nomor 4, Tahun 2006 : 9 – 21.
- [2] [CERC] Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual Volume I, Fourth Edition*. U.S. Army Coastal Engineering Research Center. Washington.
- [3] Horikawa K. 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*. University of Tokyo Press. Japan.
- [4] Kazeminezhad MH, Shahidi AE, Mousavi SJ. 2005. *Application of Fuzzy Inference System in The Prediction of Wave Parameters*. J Ocean Eng 32:1709-1725.
- [5] Shahidi AE, Kazeminezhad MH, Mousavi SJ. 2009. *On the Prediction of Wave Parameters Using Simplified Method*. J CoasEng 56:505-509.
- [6] [SPM] U.S. Army Corps of Engineers. 1984. *Shore Protection Manual Volume I*. Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC.
- [7] Triadmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta.
- [8] [USACE] U.S. Army Corps of Engineers. 2003. *Coastal Hydrodynamic Part II*. Department of

Desain dan Konstruksi Sumber Getar Seismik Berbasis Fisika Kimia Untuk Eksplorasi Data Seismik

Bualkar Abdullah, Lantu, Wahid Wahab dan Heryanto^{1*}

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*E-mail : tanto.physics@gmail.com

ABSTRAK

Sumber getar (*source*) adalah salah satu aspek penting dalam eksplorasi data seismik. Penggunaan palu sebagai sumber getar menghasilkan momentum yang beragam di tiap pukulan karena masih menggunakan tenaga manusia, sedangkan penggunaan dinamit pada umumnya hanya digunakan pada tingkat eksplorasi yang besar. Oleh sebab itu untuk menambah kualitas data dan meningkatkan keamanan maka didesain dan dibuat alat yang mengkombinasikan gaya dorong pegas dengan bahan peledak Triseton triperoksida (TATP) sebagai sumber getar yang dapat dikontrol dalam penggunaannya. Hasil penelitian dapat digunakan untuk menentukan jarak teraman menggunakan alat serta mengetahui variasi volume larutan untuk pembuatan TATP sesuai tingkat eksplorasi yang direncanakan. Jarak teraman pada penggunaan alat dengan TATP tipe 212 sebanyak 1,5 gram adalah 12 sampai 24 meter dengan nilai taraf intensitas bunyi sebesar $< 79,4$ dB.

Kata Kunci : seismik, triseton triperoksida, taraf intensitas bunyi

I. PENDAHULUAN

Metode seismik eksplorasi telah banyak dilakukan oleh perusahaan - perusahaan minyak untuk melakukan pemetaan struktur di bawah permukaan bumi untuk bisa melihat kemungkinan adanya jebakan – jebakan minyak berdasarkan interpretasi dari penampang seismiknya. Eksplorasi data seismik dilapangan memanfaatkan suatu sumber getar (*source*) dimana alat ini akan menghasilkan gelombang seismik yang apabila mengenai suatu permukaan akan dipantulkan, dibiaskan dan diabsorpsi serta sebagian lagi ditransmisikan. Alat penerima (*receive*) merekam waktu yang dibutuhkan untuk merambat dari sumber getar ke penerima, namun sebelum itu penghasil getar/sumber getar haruslah mempunyai daya yang cukup untuk merambatkan gelombang seismik hingga diterima oleh penerima (*receiver*). Sumber getar (*source*) dapat berupa palu, bom dan vibrator dengan tingkatan daya tertentu, sesuai dengan kapasitas alat itu sendiri. Intensitas *source* pada metode seismik adalah salah satu faktor penentu kualitas data namun daya yang dihasilkan mesti dalam taraf aman. Usaha meminimalkan resiko kerusakan atau kecelakaan baik pada lingkungan ataupun sumber daya manusia akibat ledakan dari *source* maka didesain dan dikonstruksis *source* sebagai alat buatan yang dapat dimanfaatkan pada eksplorasi terkhusus eksplorasi seismik refraksi.

II. KAJIAN PUSTAKA

1. *Source* seismic

Source adalah sumber gangguan alami (gempa bumi) ataupun buatan yang sengaja dirancang untuk menghasilkan gangguan pada medium. Pembuatan alat bertujuan untuk menghasilkan sumber getar baru dengan hasilnya adalah propagasi gelombang yang dapat terdeteksi oleh sensor (*detector*) dalam selang waktu tertentu yang dapat teramati dengan baik. Hal tersebut menjadi perhatian tersendiri apabila *source* yang berupa palu digunakan dalam praktikum lapangan. Keterbatasan penggunaan palu pada eksplorasi seismik refraksi adalah besarnya tingkatan perubahan tekanan di tiap hasil tumbukan dimana tumbukan tersebut dibutuhkan sebagai sumber penjalaran getaran yang akan direkam oleh *receiver*. Intensitas besar kecilnya tumbukan pada media (bumi) mempengaruhi kualitas rekaman pada tiap geophone terutama pada geophone terjauh dari posisi *source*. Geophone dilengkapi dengan sensor yang berfungsi mengubah data tekanan mekanik menjadi data digital yang akan memberikan informasi geofisika pada seismik refraksi. Data yang direkam dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian utama yaitu *intercept time*, *delay time*, dan *wave front method* (Tjetjep, 1995).

Ada dua jenis sumber getaran yakni sumber pasif dan sumber aktif(Susilawati,2008);

a. Sumber Pasif

Salah satu jenis sumber pasif adalah gempa bumi. Gempa bumi tidak lain adalah manifestasi dari getaran lapisan batuan yang energinya menjalar melalui badan dan permukaan bumi berupa gelombang seismik. Sumber pasif juga sangat berkaitan dengan metode pasif yang memanfaatkan gejala alam seperti letusan gunung berapi maupun gempa tektonik

b. Sumber Aktif

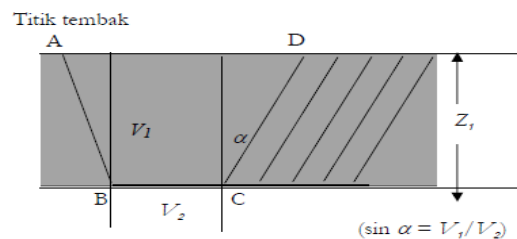
Jenis berikutnya untuk sumber getar adalah sumber aktif yang merupakan asal getaran akibat dari gangguan bukan sebuah proses alam. Contoh dari sumber aktif adalah vibrator, palu, dinamit dan *source* buatan lainnya.

Sumber getar untuk metode seismik mempunyai karakteristik untuk jenis berbeda khususnya pada sumber aktif seperti vibrator, palu, dinamit dan *source* buatan lainnya. *Source* buatan mempunyai kelebihan yang banyak dibandingkan sumber getar dari alam dikarenakan *source* buatan dapat diaktifkan sesuai kebutuhan. Tingkat keamanan bagi manusia dan lingkungan pada *source* buatan yang menggunakan bahan ledak sebagai penambah daya selalu harus pada tingkat keamanan yang tinggi sedangkan penggunaan palu sebagai sumber getar hanya mempunyai intensitas tekanan yang kecil tergantung pada personal dalam hal sumber daya manusia itu sendiri, inilah kelemahan palu pada saat digunakan pada praktek lapangan mahasiswa geofisika bahkan pada kondisi tertentu digunakan pula pada pengambilan data tugas akhir tingkat s1. Solusi pembuatan alat yang terkuantisasi, terkontrol, aman dan mempunyai tekanan yang besar mesti dilakukan untuk kebutuhan eksploitasi seismik refraksi dan seismik refleksi serta untuk kepentingan kemajuan dunia pendidikan khususnya.

2.Kedalaman Lapisan Dan Kecepatan Gelombang Pada Lapisan Bumi

Metode Seismik dikategorikan kedalam dua bagian yaitu seismik refraksi (seismik bias) dan

seismik refleksi (seismik pantul). Seismik refraksi adalah pembahasan pada penulisan ini, dalam metodenya waktu tempuh dari *source* ke *geophone* adalah variabel yang diukur. Bentuk kurva waktu tempuh terhadap jarak dapat ditafsirkan sebagai kondisi batuan di daerah penelitian. Masalah utama dalam pekerjaan salah satu Metode Geofisika ini adalah membuat atau melakukan interpretasi hasil survei menjadi data bawah permukaan yang akurat. Data-data dan jarak dari kurva travel time diterjemahkan menjadi satu penampang geofisika, dan akhirnya dijadikan penampang geologi. Secara umum metode interpretasi seismik refraksi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu intercept time, delay time, dan wave front method (Tjetjep, 1995).



Gambar 2.1. Sistem Dua Lapis Sederhana Dengan Bidang Batas Horizontal (Sismanto, 1999)

Waktu rambat gelombang pada gambar diatas, dapat diperoleh dengan persamaan :

$$T = \frac{AB+CD}{V_1} + \frac{BC}{V_2} \quad (2.1)$$

T adalah waktu yang ditempuh gelombang seismik dari titik tembak (A) sampai *geophone* (D), AB adalah jarak dari titik A ke B dan begitupula untuk CD dan BC, V_1 dan V_2 adalah kecepatan pada lapisan satu dan dua. Pada Persamaan ini dapat diperoleh persamaan berikut :

$$z_1 = \frac{T_1 V_1 V_2}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.2)$$

Waktu rambat gelombang pada gambar diatas, dapat diperoleh dengan persamaan :

$$T = \frac{AB+CD}{V_1} + \frac{BC}{V_2} \quad (2.3)$$

T adalah waktu yang ditempuh gelombang seismik dari titik tembak (A) sampai *geophone* (D), AB adalah jarak dari titik A ke B dan begitupula untuk CD dan BC, V_1 dan V_2 adalah kecepatan pada lapisan satu dan dua. Pada Persamaan ini dapat diperoleh persamaan berikut :

$$z_1 = \frac{T_1 V_1 V_2}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.4)$$

Keterangan Z_1 adalah kedalaman lapisan 1, α adalah sudut antara garis gelombang datang dengan garis gelombang bias dengan garis normal dan variabel x adalah jarak antara titik tembak (A) dengan Geophone (D). Berdasarkan Hukum Snellius bahwa sudut kritis berlaku $\sin \theta = V_1/V_2$ sehingga persamaan (2.4) dituliskan menjadi :

$$\begin{aligned} T &= \frac{2z_1}{V_1 \cos \theta} + \frac{x - 2z_1 \tan \theta}{V_2} \\ T &= 2z_1 \left(\frac{1}{V_1 \cos \theta} - \frac{\sin \theta}{V_2 \cos \theta} \right) + \frac{x}{V_2} \\ T &= 2z_1 \left(\frac{V_2 - V_1 \sin \theta}{2} \right) + \frac{x}{V_2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Bila $x=0$ maka akan diperoleh T_1 ($x=0$) dan nilai tersebut dapat dibaca pada kurva waktu terhadap jarak yang disebut sebagai *intercept time*. Kecepatan gelombang lapisan pertama dapat dihitung langsung, sedangkan untuk kecepatan gelombang lapisan dua diperoleh dari *slope* gelombang bias pertama. Kedalaman lapisan pertama ditentukan dengan menuliskan persamaan diatas menjadi persamaan :

$$Z_1 = (T_1 V_1) / (2 \cos \alpha) \quad (2.6)$$

Dengan T_1 dikatakan sebagai *intercept time*. Apabila $\alpha = \sin^{-1} (V_1/V_2)$ maka persamaan dapat dituliskan :

$$z_1 = \frac{T_1 V_1 V_2}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.7)$$

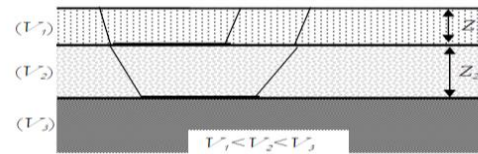
Persamaan umum untuk sejumlah (n) refraktor datar pada T adalah time dan X_c adalah offset jarak kedua gelombang yang sama dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T = \frac{X_c}{V_n} + \sum_{i=1}^{n-1} 2 \frac{Z_i \cos \alpha}{V_i} \quad (2.8)$$

Ketebalannya :

$$Z_n = \frac{V_n}{2 \cos \alpha} \left[T_n - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{2Z_i \cos \alpha}{V_i} \right] \quad (2.9)$$

Gambar dibawah adalah penampang Lapisan tanah normal yang akan selalu didapati hubungan bahwa $V_1 < V_2 < V_3$ (Sismanto, 1999).



Gambar 2.2. Sistem Penjalaran Gelombang Refraksi Pada 3 Lapisan

3. Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi adalah perubahan tekanan atau kompresi mekanikal berupa gelombang longitudinal yang merambat melalui medium atau zat perantara dimana gelombang ini dapat menjadi sumber kebisingan pada taraf tinggi (H. Syarif, 2012) . Besar intensitas bunyi bergantung pada sumber bunyi dan jarak penerima bunyi tersebut. Taraf intensitas bunyi merupakan perbandingan logaritmik antara intensitas bunyi dengan intensitas ambang pendengaran. Persamaan yang dapat menggambarkan peristiwa bunyi ini adalah sebagai berikut :

$$\beta = 10 \log (I / I_0) \quad (2.10)$$

keterangan :

I = intensitas bunyi (Watt/m^2)

I_0 = Intensitas ambang pendengaran (10^{-12}Watt/m^2)

β = taraf intensitas bunyi (dB)

Tingkat intensitas bunyi ambang pendengaran adalah 0 dB dan ambang rasa sakit ialah 120 dB (Galuh K, 2012). Hubungan intensitas bunyi dan daya rata-rata dapat dilihat sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.11)$$

Keterangan :

I = Intensitas (Watt/m^2)

$P_{\text{rata-rata}}$ = Daya rata-rata (Watt)

A = luas permukaan bola (m^2)

Berikut tabel (II.1) Intensitas dari taraf normal hingga taraf yang berbahaya.

Tabel II.1 Intensitas dari taraf normal hingga taraf yang berbahaya.

No	Level Bunyi dB	Intensitas W/m ²	Bunyi
1	0	10 ⁻¹²	Batas pendengaran
2	10	10 ⁻¹¹	Geresik
3	20	10 ⁻¹⁰	Bisikan (jarak 1 meter)
4	30	10 ⁻⁹	Tenang
5	40	10 ⁻⁸	Rata-Rata Rumah
6	50	10 ⁻⁷	Rata rata kantor
7	60	10 ⁻⁶	Percakapan Normal
8	70	10 ⁻⁵	Keributan dalam kantor
9	80	10 ⁻⁴	Lalulintas sibuk
10	90	10 ⁻³	Mobil
11	100	10 ⁻²	Sepanjang kereta api
12	120	10 ⁻⁰	Toko mesin
13	140	10 ²	Tekanan sejauh 2 meter dan besar suara pesawat jet

(sumber : Galuh K, 2012)

4. Triaseton Triperoksida

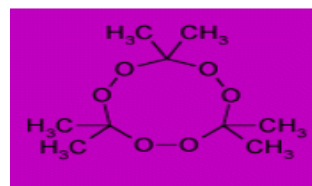
Triaseton triperoksida (TATP) adalah salah satu bahan peledak yang banyak digunakan dalam dunia industri dan militer. Dalam bidang industri pertambangan, bahan peledak digunakan untuk pengeboran minyak, penghancuran batu-batuan di pegunungan, dan kebutuhan pertambangan lainnya. Dalam bidang militer, bahan peledak digunakan sebagai *demolish*, *rocket*, *propellant*, dan kebutuhan militer yang lain. Bahan peledak yang akan digunakan untuk kepentingan pertambangan dan militer biasanya diproduksi secara berkala. Bahan peledak juga seringkali digunakan secara *illegal* oleh para teroris dan kriminal untuk tindakan pemusnahan maupun pembunuhan (Zaidar, 2003). Dalam eksplorasi data seismik ini akan digunakan bahan peledak *triaceton triperoksida*. Penemu triaseton triperoksida adalah Richard Wolfenstein pada tahun 1895. triaseton triperoksida (TATP) adalah peroksida

organik yang sangat rentan terhadap gesekan, suhu dan tekanan namun tidak larut dalam air serta kestabilannya sangat dipengaruhi oleh oligomer (Yusuf, 2012). Bahan peledak yang umum digunakan dibagi ke dalam dua kelompok besar yaitu bahan peledak primer dan bahan peledak sekunder. Bahan peledak primer tidak membutuhkan bahan peledak lain untuk peledakannya dan detonatornya cukup menggunakan nyala api atau aliran listrik. Contoh bahan peledak primer diantaranya TATP (triasetone triperoxide), PETN (pentaerythritol tetranitrate), dan turunan nitrokubana. Bahan peledak sekunder merupakan kelompok bahan peledak yang kurang sensitif namun memiliki kandungan energi tinggi contohnya TNT (2,4,6-trinitrotoluene), HMX (octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine), RDX (hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine), dan TNB (1,3,5-trinitrobenzene). Peledakan bahan peledak sekunder membutuhkan bahan peledak primer untuk menimbulkan gelombang kejut sehingga atom-atom pada bahan peledak sekunder mengalami reaksi dekomposisi menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan membebaskan energi (Mathieu, 2004).

Proses oksidasi, reduksi dan dehidrasi terjadi dalam pembentukan kristal-kristal TATP berikut proses-prosesnya :

- Tiga kali pelepasan atom H⁺
- Satu kali pelepasan senyawa HSO₃
- Tiga kali pelepasan senyawa H₂O
- Tiga kali mengikat kation positif
- Tiga kali mengikat O₂
- Tiga kali mengikat atom H⁺

Bentuk ikatan hasil sintesis triaseton triperoksida



Gambar 2.3 Ikatan Kimia Triaseton Triperoksida

III. METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini diawali dengan perakitan alat, pembuatan material explosive, penentuan akuisisi seismik refraksi, pengukuran besar intensitas bunyi dan perekaman trace seismik serta melakukan perbandingan kualitas data seismik yang dihasilkan dari palu dan alat buatan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Rancangan Alat

berikut hasil konstruksi alat yang telah dibuat :



Gambar 3.1 Tampilan alat buatan

Keterangan :

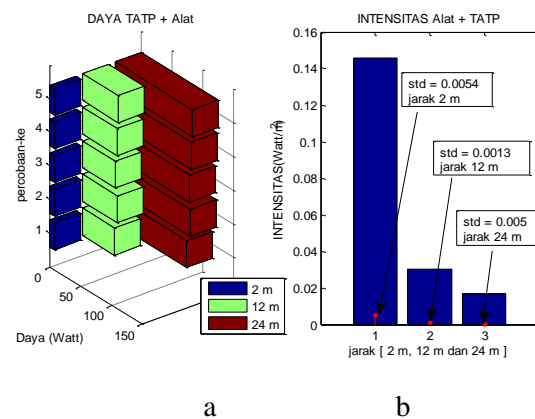
- a). Central gear b). Gear pengunci
c). Tuas Control d). Mode kaki alat

Poin (a) adalah letak sentral gear yang membantu dalam memampatkan pegas guna menjadi dorongan alat ke plat agar mengaktifkan TATP, jumlah gear pada sistem ini menggunakan 3 buah gear dengan momen inersia sebesar $2.7 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$ yang memudahkan pengguna saat memutar pengangkat beban. Poin (b) adalah gear pengungkit yang disambungkan dengan pengunci berguna dalam menahan pegas. Gear yang pada stir inilah yang menjadi control seberapa mampatnya pegas sesuai dengan jumlah putaran yang pengguna berikan. Poin (c) adalah tuas kontrol yang berfungsi untuk membuka dan menutup pengunci pegas. Tuas kontrol membuat operator bisa mengambil jarak yang aman sebelum melakukan shoot. Poin (d) adalah mode lipatan kaki alat yang akan berguna saat melakukan eksplorasi di area yang tidak rata atau berlubang.

Spesifikasi alat dapat dilihat sebagai berikut :

- Massa alat 52 kilo gram
- Tinggi alat (140 – 150)cm
- Gaya tekan pegas total $1,003 \times 10^3 \text{ N}$
- Taraf Intensitas rata-rata bunyi alat yakni sebesar 72,42 dB pada jarak 24 meter dan 77,3 dB di jarak 12 meter serta 82 dB pada jarak 2 meter.
- Konstanta total pegas (disusun seri) $1,18 \times 10^4 \text{ N/m}$.
- Momentum 248,03 kgm/s

Berikut hasil pengukuran daya dan intensitas bunyi dari alat buatan dilengkapi dengan TATP.

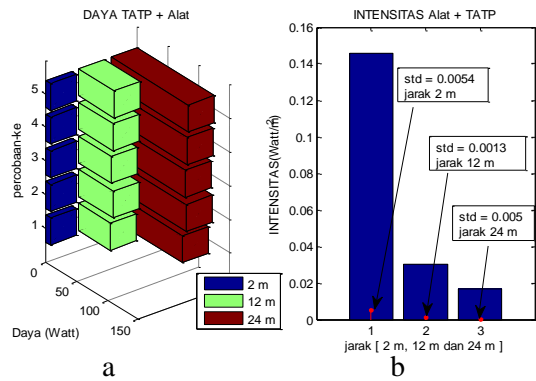


Gambar 3.2 Daya Dan Intensitas Terhadap Jarak Pengukuran Dari Alat Dan TATP 212

Keterangan :

- a) Hubungan daya terhadap jarak
b) Hubungan intensitas rata-rata dengan standar deviasi (std) terhadap jarak

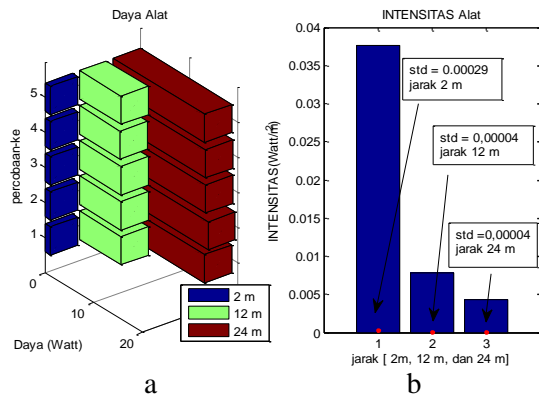
Diagram batang pengukuran besar daya dan intensitas alat + TATP tipe 212 pada jarak 2 meter, 12 meter dan 24 meter. Pada gambar IV.5 (b) menunjukkan perubahan intensitas yang tidak terlalu besar ditiap shoot sesuai dengan nilai standar deviasinya.



Gambar 3.3. Hubungan Daya Dan Intensitas Terhadap Jarak Pengukuran *Hummer*

Keterangan :

- Hubungan daya terhadap jarak
- Hubungan intensitas rata-rata dengan standar deviasi (std) terhadap jarak



Gambar 3.4 Hubungan Daya Dan Intensitas Terhadap Jarak Pengukuran Alat Buatan

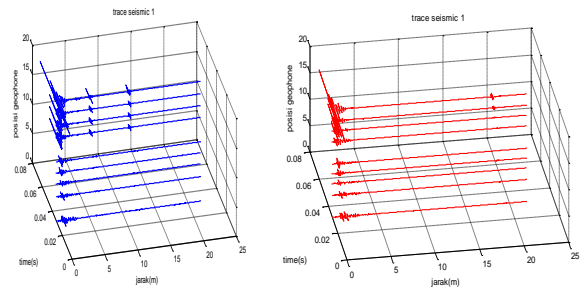
Keterangan :

- Hubungan daya terhadap jarak
- Hubungan intensitas rata-rata dengan standar deviasi (std) terhadap jarak

Diagram pengukuran besar daya dan intensitas palu pada jarak 2 meter, 12 meter dan 24 meter. Pada gambar IV.6 (b) menunjukkan perubahan intensitas yang besar di tiap *shoot*-nya. Ini dikarenakan pengguna palu mengandalkan tenaga manusia. Diagram pengukuran besar daya dan intensitas hanya alat pada jarak 2 meter, 12 meter dan 24 meter. Pada gambar IV.7 (b) menunjukkan perubahan intensitas yang tidak terlalu besar ini menandakan bahwa gaya tekan yang dihasilkan alat konsisten di tiap *shoot*-nya hal ini ditunjukkan dengan nilai standar deviasi (std) yang kecil pada tiap pengukuran besar intensitas.

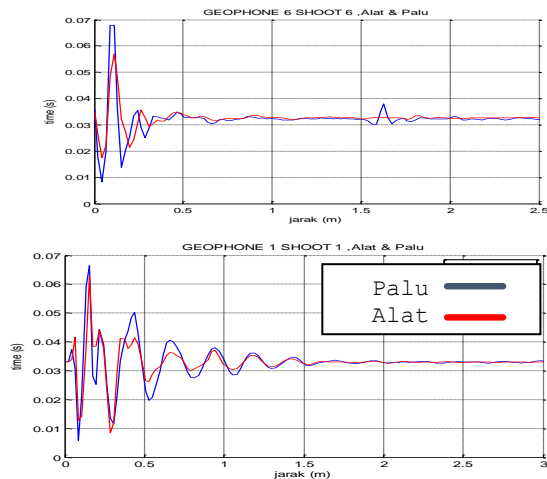
2. Hasil Perbandingan Data Seismik *Trace* Antara Palu dan Alat buatan

Hasil perbandingan data *trace* seismik dengan sumber getar berupa palu dan *source* dengan posisi terhadap geophone akan memberikan informasi mengenai tingkat kualitas kedua sumber getar.

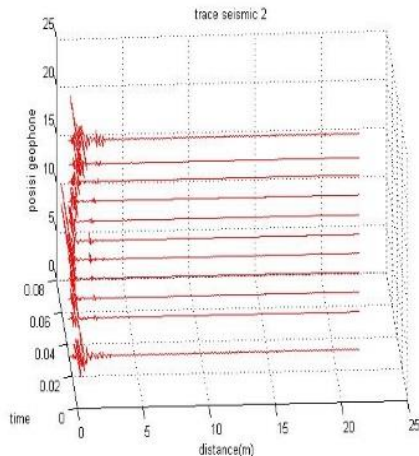


Gambar 3.5. Perbandingan *TraceSeismicShoot* Pertama Hasil Alat (merah) dan Palu (biru)

Pada perekaman ini terlihat gelombang yang datang setelah tembakan hal tersebut dapat disebabkan oleh sumber getar baru berupa gerakan kaki maupun pantulan palu setelah penumbukan pada plat. Bentuk *tracesismic* Gambar IV.I.3.a pada tembakan pertama ditampilkan dalam Matlab. Tembakan pertama perekaman dimulai dari geophone 1 ke geophone 12.



Gambar 3.6. Perbandingan *Trace Seismic* Pada Tembakan Pertama Membandingkan *trace* seismik anatara palu dan alat buatan pada tembakan pertama di perekaman geophone pertama. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui tingkat noise yang dihasilkan oleh tiap *source* agar memperoleh tingkat kualitas data yang diharapkan.

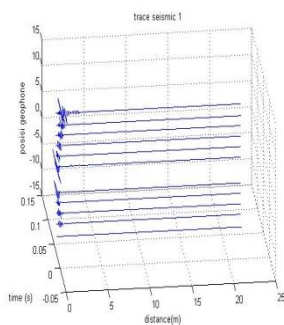


Gambar 3.7. Perbandingan *Trace Seismic* Pada Tembakan Ke Dua (a)

Keterangan :

palu (biru) dan alat (merah)

Pada tembakan kedua perekaman dimulai dari geophone 6 ke geophone 1 dan geophone 7 ke geophone 12. Untuk melihat perbandingan perekamandengan dua sumber getar berbeda dapat dilihat pada rekaman geophone 6 berikut.



Gambar 3.8. Perbandingan *Trace Seismic* Pada Tembakan Pertama

Pada gambar 3.8 hasil rekaman geophone 6 terlihat adanya gelombang yang mempunyai waktu tempuh yang terlambat terekam pada sumber getar dari palu. Hal ini terjadi karena adanya sumber getar yang tak diperlukan pada saat *shoot* menggunakan palu. Sumber getar yang tidak diperlukan ini bisa berasal dari gerakan kaki pemalu ataupun dari *noise* yang lain.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari desain dan konstruksi *source* serta pengambilan data dilapangan dapat diambil tiga kesimpulan sebagai berikut :

- Desain dan konstruksi alat buatan seismik menggunakan tiga pegas dipasang seri dengan konstanta total $1,18 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ dan menghasilkan gaya tekan total sebesar $1,003 \times 10^3 \text{ N}$. Intensitas bunyi $0,14582 \text{ Watt/m}^2$ pada jarak 2 meter, $0,03046 \text{ Watt/m}^2$ pada jarak 12 meter serta $0,01684 \text{ Watt/m}^2$ pada jarak 24 meter.
- Taraf Intensitas rata-rata alat buatan seismik dengan tambahan bahan ledak triaseton triperoksida tipe 212 diperoleh sebesar 100,74 dB pada jarak 2 meter dan pada jarak 12 meter adalah 85,08 dB dan pada jarak 24 meter adalah 79,4 dB.
- Hasil perbandingan *seismic trace* antara palu dan *source* mempunyai kesamaan dalam penyajian program PLOTREFA. Hal ini disebabkan karena lintasan yang diambil sama akan tetapi jika digunakan program MATLAB R2008a untuk menyajikan data *trace seismic* tersebut akan terlihat sedikit perbedaan di beberapa *geophone* terjauh dari sumber getar, yakni jika dilakukan *shoot* pertama dimana geophone 1 berjarak 1 meter dari sumber getar dan geophone 12 berjarak 22 meter dari sumber getar (karena diambil jarak *offset* 2 meter) dapat terlihat perbedaan data di geophone terjauh tersebut. Hal ini dikarenakan pelemahan energi getar yang sampai pada geophone terakhir dan *noise* yang terjadi menambah gelombang yang tidak diperlukan. Maka dari itu sumber dengan daya yang tepat dapat menambah kualitas data.

REFERENSI

- Tjetjep. 1995. *Model Simulasi Struktur Multi Lapisan dari Data Seismik Refraksi dengan Menggunakan Metode Time Plus Minus*. Bandung. ITB
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelitian Struktur Bagian Dalam Bumi*. Universitas Sumatra Utara, Medan
- Sismanto, S.A. 1999. *Eksplorasi dengan menggunakan seismik refraksi*, Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

- [4] Galuh K, 2012. *Ketepatan Taraf Intensitas Bunyi "Garengpung" (Dundubia Manifera) Termanipulasi Pada Peak Frecuency (3,01±0,03)103Hz Terhadap Produktifitas Dan Pertumbuhan Tanaman Kentang (Solanum Tuberosum L) Pada Lahan Kordinat Batas [(0.0,-0.7); (4.8,-0.7); (4.8,-6.0); (0.0,-6.0)] Mdan Tanaman Tomat (Lycopersicum Esculentum M.* Yogyakarta. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [5] Yusuf, Muhammad. 2013. *Sintesis dan Karakterisasi IR 3,5 Dinitroasetofenon sebagai Starting Material dalam Sintesis Trimer 3,5 Dinitroaseton Peroksida.* Makassar. Unhas
- [6] Mathieu, J., dan Stucki, H., 2004, Military High Explosive, *Chimia*, 58: 383-389 www.military.org (diakses pada 9 Maret 2015 pukul 09:27 pagi)
- [7] Zaidar E., 2003, *Bahan Peledak*, USU digital library, Sumatra Utara.

Penentuan Kedalaman Minimum Area Dumping di Laut Dengan Mempertimbangkan Mobilitas Sedimen

Alimuddin Hamzah Assegaf^{1,*} dan Wasir Samad^{1,2}

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup-Unhas

²Jurusan Ilmu Kelautan, FIKP Unhas

*E-mail: alihamzah@science.unhas.id

ABSTRAK

Telah dilakukan observasi lapangan untuk penentuan area dumping hasil kerukan di perairan Pattirolokka, Kabupaten Wajo. Selain observasi, penentuan area dumping dilakukan dengan pendekatan simulasi dalam menentukan batas kedalaman minimum terhadap gerak partikel aktif sedimen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa mobilitas sedimen mempunyai batas minimum kedalaman, sehingga dibawah batas minimum kedalaman gerak partikel sedimen cenderung lebih stabil bergantung pada kondisi hidrodinamik. Oleh karena itu, argumen tersebut yang memungkinkan pengambilan keputusan secara cepat untuk kesesuaian lokasi yang potensial untuk penempatan material dumping.

Kata kunci: Area dumping, mobilitas sedimen, Pattirolokka

I. PENDAHULUAN

Material lapisan sedimen di atas permukaan dasar perairan sangat dinamis dan rentan terhadap perubahan fisis. Jika lapisan sedimen dasar mengalami perubahan bentuk (distorsi) cenderung timbul ketidakstabilan transportasi sedimen akibat arus traksi (gravity), arus densitas dan sedimen suspensi [4] [5] [6]. Sistem ini muncul jika gangguan terus menerus dilakukan di antara badan air (perairan) dengan lapisan dasar permukaan. Sistem tersebut berupa gangguan pengerukan dengan memindahkan material sedimen ke areal dumping (pembuangan) ke dalam perairan (badan air).

Di dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 52 Tahun 2011 dinyatakan bahwa Pengerukan (dredging) merupakan pekerjaan mengubah bentuk dasar perairan untuk mencapai kedalaman dan lebar yang dikehendaki atau untuk mengambil material dasar perairan yang dipergunakan untuk keperluan tertentu. Namun dengan memperhatikan lokasi pembuangan hasil pengerukan (*dredging*) dengan ketentuan yang tidak diperbolehkan pada areal/lokasi tertentu, antara lain: alur-pelayaran; kawasan lindung; kawasan suaka alam; taman nasional; taman wisata alam; kawasan cagar budaya dan Ilmu pengetahuan; sempadan pantai; kawasan terumbu karang; kawasan mangrove; kawasan perikanan dan budidaya; kawasan permukiman; dan daerah lain yang sensitive terhadap pencemaran sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Selanjutnya kriteria yang dipersyaratkan untuk dumping area, yaitu jarak minimal 12 mil dari pantai dan/atau kedalaman lebih dari 20 m (LWS).

Kriteria ini terlalu kaku dan tidak mempertimbangkan aspek hidrodinamika. Dalam tulisan ini diuraikan untuk membahas dengan metode pendekatan ilmiah bahwa terdapat batasan kedalaman minimum pembuangan hasil kerukan (dumping area) terhadap mobilitas sedimen (White, 1972). Pendekatan ini dilakukan dengan mempelajari formula matematis terhadap gerakan sedimen hasil pengerukan pada areal dumping di laut. Ide ini muncul untuk memberikan pendekatan ilmiah terhadap Peraturan Menteri Perhubungan seperti yang disebutkan diatas.

Formula matematis yang telah dikembangkan lebih jauh oleh Gailani et.all, 1999, mengungkapkan bahwa penentuan batas kedalaman minimum terhadap gerakan partikel sedimen dengan ukuran butiran tertentu sangat bergantung pada kondisi hidrodinamik. Lebih jauh lagi, konsep sedimen transpor yang dikemukakan [2], memberikan pendekatan dengan simulasi sederhana (pemodelan). Pemodelan berperan untuk mengetahui pola penyebaran sedimen dan proses pengendapan sedimen di dasar perairan. Jika pola penyebaran sedimen tidak menyebar ke daerah yang sensitif terhadap lingkungan dan tidak menimbulkan pendangkalan di suatu tempat lainnya maka strategi pengerukan dengan prosedur yang dipilih sudah tepat. Sifat-sifat transportasi sedimen berperan penting terhadap sedimen itu sendiri yaitu mempengaruhi pembentukan struktur sedimen yang terbentuk. Hal ini penting untuk diketahui karena sebenarnya struktur sedimen merupakan suatu catatan (record) tentang proses yang terjadi sewaktu sedimen tersebut diendapkan. Umumnya proses itu

merupakan hasil langsung dari gerakan media pengangkut. Namun demikian sifat fisik (ragam ukuran, bentuk dan berat jenis) butiran sedimen itu sendiri mempunyai pengaruh pada proses mulai dari erosi, transportasi sampai ke pengendapan.

II. BAHAN DAN METODA

Teori Mobilitas Sedimen

Teori mobilitas sedimen dikembangkan oleh [1][2] yang digambarkan sebagai rasio gaya geser pada satuan area terhadap berat butir partikel sedimen yang tenggelam di lapisan dasar sebagaimana terlihat pada persamaan (1) hingga persamaan (7) sebagai berikut.

$$F_{gr} = \frac{v_*^n}{\sqrt{gD(s-1)}} \left[\frac{V_{wc}}{\sqrt{32} \log \left(10 \frac{d}{D} \right)} \right]^{1-n} \quad (1)$$

dimana :

$$v_*^n = \frac{\sqrt{g} V_{wc}}{C_z} \quad (2)$$

Selanjutnya, peningkatan kecepatan arus yang disertai dengan gelombang dinotasikan sebagai V_{wc} yang dituliskan sebagai fungsi kecepatan arus V_c akibat keberadaan gelombang sebagai berikut.

$$V_{wc} = V_c \left[1.0 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{\hat{u}_0}{V_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

dimana \hat{u}_0 sebagai amplitude kecepatan orbital di lapisan dasar.

$$\xi = \hat{C} \left(\frac{f_w}{2g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\hat{C} = 18 \log \left(\frac{12d}{r} \right) \quad (5)$$

$$f_w = \exp \left[-5.977 + 5.213 \left(\frac{r}{a_0} \right)^{0.194} \right] \quad (6)$$

Sedangkan a_0 didefinisikan sebagai gerak orbital (amplitudo) pada lapisan dasar yang dihitung dari teori gelombang linier (Ippen, 1966).

Kriteria mobilitas sedimen dituliskan sebagai berikut:

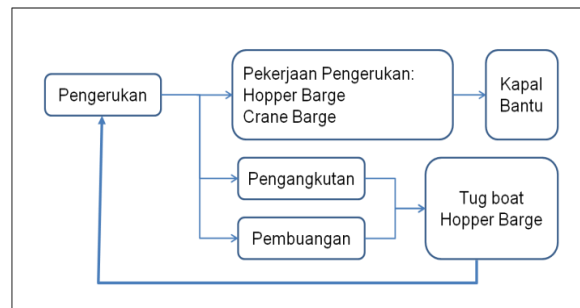
$$Mc = \frac{F_{gr}}{A} - 1 \quad (7)$$

Dengan syarat:

- $Mc \leq 0$: Sedimen tidak bergerak
- $Mc > 0$: Sedimen bergerak

Proses dredging dan dumping

Pengerukan dilakukan dengan menggunakan kapal khusus seperti *cutter suction dredger* yang dilengkapi dengan *bucket dredger* [7]. Sebelum proses keruk dilakukan lebih awal menyiapkan peralatan yang digunakan, menghitung produktivitas, dan merencanakan metode pengerukan. Alur proses pengerukan dan dumping dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pengerukan dan dumping [7].

Buangan material kerukan

Material hasil kerukan dibawa dengan menggunakan *tugboat hopper barges* kapal yang didesain khusus untuk menarik tongkang (open hopper barges) yang berisi material kerukan ke arah lokasi dumping yang telah ditentukan dengan mengacu Permenhub PM No 52 Tahun 2011 dengan kriteria yang dipersyaratkan untuk dumping area, yaitu jarak minimal 12 mil dari pantai dan/atau kedalaman lebih dari 20 m (LWS). Kriteria ini diambil sebagai acuan pernyataan dari Permenhub tersebut dengan melakukan pendekatan simulasi matematik sederhana.

Lokasi dumping ditetapkan sebagai uji kasus untuk perairan Pattirolokka, Kabupaten Wajo dengan koordinat antara lain:

- (a) P-1 (Barat Daya): -3.941666° S, 120.467838° E
- (b) P-2 (Barat Laut) : -3.917511° S, 120.467818° E
- (c) P-3 (Timur Laut): -3.917049° S, 120.495260° E
- (d) P-4 (Tenggara): -3.941501° S, 120.495417° E



Gambar 2. Lokasi calon areal dumping perairan Pattirolokka Kabupaten Wajo

Setting Parameter

Simulasi yang dilakukan dengan terlebih dahulu menyiapkan parameter input sebagai acuan awal untuk analisis lebih lanjut. Setting parameter disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Setting parameter

Parameter	Simbol	nilai	Satuan
Tinggi Ombak	H	1,5 ~ 3	m
Perioda Ombak	T	10	s
Kecepatan Arus	Vc	0.2	m/s
Sediment Grain Size	D50	0.0002	m
Kedalaman Laut	d	10 ~ 30	m
Manning Coefficient	n	0.025	-
Kinematik Viskositas	μ	1.56e-6	m ² /s
Hydraulic Roughness	R	0.06	m
Gravity	g	9.806	m/s ²
Sediment Specific Gravity	s	2.66	-

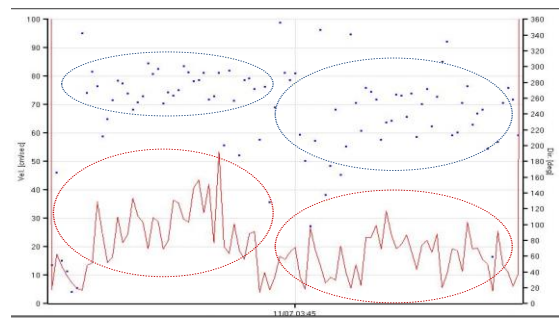
III. HASIL DAN DISKUSI

Substrat sedimen di lokasi pengerukan didominasi oleh material jenis lempung, pasir dengan tekstur kasar hingga halus yang diperkirakan berasal dari material pecahan karang. Material kerukan tersebut dibuang ke lokasi dumping (lihat Gambar 2).

Arah dan Kecepatan Arus

Berdasarkan hasil pengukuran arus di lokasi dumping menunjukkan bahwa sirkulasi arus lebih didominasi oleh arus pasang surut dengan rata-rata kecepatan antara 0,1 – 0,4 m/detik dengan arah berasal dari barat laut hingga timur selama siklus pasang. Sebaliknya pada siklus surut arah arus berasal dari barat daya hingga barat laut. Sedangkan maksimum kecepatan tercapai 0,5 m/detik yang dominan dari arah

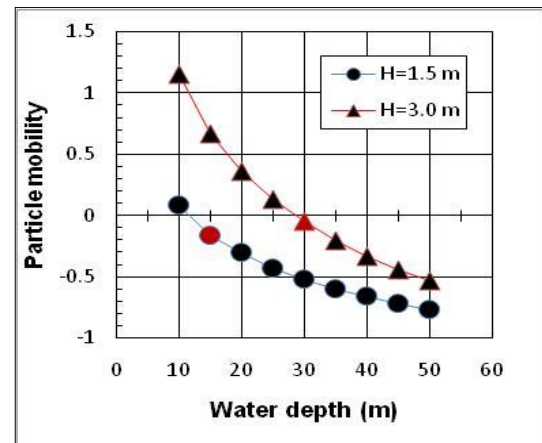
barat. Hasil pengukuran arah dan kecepatan arus dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Arah dan kecepatan arus sekitar areal dumping Waktu: 6–7 November 2013

Mobilitas Sedimen

Pendekatan simulasi menunjukkan hasil bahwa batasan minimum kedalaman untuk mobilitas sedimen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skenario gelombang pada mobilitas partikel sedimen

Skenario hasil simulasi yang telah dilakukan pada Gambar 4 di atas digunakan untuk menjawab permasalahan pada areal dumping yang dikemukakan dalam Peraturan Menteri PM Nomor 52 Tahun 2011. Pendekatan tersebut yang mampu memberikan batas kedalaman untuk gerak partikel sedimen. Ini merupakan salah satu cara cepat untuk menentukan batas minimum kedalaman gerak aktif sedimen, sehingga kedalaman air yang lebih dalam dari threshold (batas minimum kedalaman air) partikel sedimen cenderung berada pada lingkungan yang stabil, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Sedangkan kedalaman air yang lebih dangkal akan menghasilkan gerak aktif sedimen dan tidak stabil. Oleh karena itu, argumen memungkinkan

pengambilan keputusan yang cepat untuk kesesuaian lokasi yang potensial untuk penempatan material dumping. Untuk kasus perairan pantai Pattirolokka, maka untuk setting parameter konservatif ($H=3$ m), dapat disimpulkan bahwa sedimen sudah tidak bergerak pada kedalaman 30 m dan ini berarti sudah tidak terjadi lagi dispersi. Dengan setting parameter yang lebih moderat, maka sedimen sudah tidak bergerak pada kedalaman 15 m. Batasan kedalaman lebih dari 20 m, terkoreksi dengan perhitungan yang sederhana ini.

IV. KESIMPULAN

Kedalaman air pada perairan laut yang relative dangkal menghasilkan gerak sedimen yang lebih aktif. Pendekatan dengan model matematis mampu mensimulasikan penentuan batas minimum kedalaman untuk gerak aktif sedimen di perairan khususnya sebagai bahan untuk membuang material keruk ke areal dumping. Batas kedalaman minimum untuk material sedimen yang stabil bergantung pada kondisi hidrodinamik perairan tertentu, sehingga pernyataan di dalam Peraturan Menteri Perhubungan PM Nomor 52 Tahun 2011 dapat lebih didetilkan. Sifat mobilitas sedimen dapat membantu pengambilan keputusan untuk menentukan kesesuaian lokasi dumping secara cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. South Sulawesi LNG atas ijin dalam penelitian di lokasi Pattirolokka Kabupaten Wajo.

REFERENSI

- [1] Ackers, P., 1972. Sediment transport in Channels: An Alternative Approach, Report INT 102, Hydraulics Research Station, Wallingford, England.
- [2] Ackers, P., and White, W.R. 1973. Sediment transport: New Approach and analysis, Journal Hydraulics Div. Am. Soc. Civ. Eng., 99 (HY11), 2041-2060.
- [3] Ippen, A.T., 1966. Estuary and coastline hydrodynamics. McGraw-Hill Book Company., Incorporation, New York. page: 29).
- [4] Bijker, E. (1971). "Longshore transport computations," *J. Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 97(WW4), 687-701.
- [5] Brownlie, W. R. (1981). "Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels," Report KH-R-43A, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, CA.
- [6] Chow, V. T. (1959). *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [7] PT. SSLNG, (2014) "Studi Batimetri dan Hidrooseanografi Perairan Pattirolokka Kabupaten Wajo".
- [8] Swart, D. H. (1976). "Predictive equations regarding coastal transports," *Coastal Engineering* 2. Van De Graff, J., and Van Overeem, J. (1979). "Evaluation of sediment transport formulae in coastal engineering practice," *Coast. Engrg.*, Amsterdam, 3, 1-32.
- [9] White, W. R. (1972). "Sediment transport in channels: A general function," INT 104, Wallingford Hydraulics Research Station, Wallingford, U.K.

Rancang Bangun Alat Ukur Curah Hujan, Temperatur, dan Kelembaban Udara dengan Media Penyimpanan Dalam SD Card

Elisa Sesa*, Dedy Farhamsah dan Randy Lasman

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Tadulako

*Email : elisa.sesa@uon.edu.au

ABSTRAK

Data curah hujan, temperatur dan kelembaban udara begitu penting dalam kehidupan sehari-hari. Data-data tersebut merupakan sarana informasi bagi keperluan instansi terkait, seperti BMG, BMKG, dan bidang budidaya pertanian. Pada penelitian ini dibuat alat ukur curah hujan, temperatur dan kelembaban udara dengan sistem media penyimpanan data SD CARD. Alat ukur ini terdiri dari penampung air hujan, transduser optik, sensor DHT11, modul SD card dan Mikrokontroler Arduino Uno. Penelitian ini dilakukan dalam 4 tahap yaitu perancangan dan pembuatan sistem mekanik, perancangan dan pembuatan sistem elektronik, penggabungan sistem mekanik, sistem elektronik dan PC/laptop, dan pembuatan program, pengujian alat, pengambilan data. Alat ukur ini telah diuji dan bekerja dengan baik. Untuk curah hujan, alat yang dibuat memiliki batas pengukuran terkecil sebesar 0.20 mm. Pada pengujian data curah hujan simulasi diperoleh kesalahan relatif sebesar 0 % terhadap pengukuran dengan gelas ukur standar. Pada pengukuran data curah hujan di lapangan diperoleh tingkat kesalahan relatif berkisar 0-2.5% terhadap pengukuran dengan alat observasi (OBS). Untuk temperatur alat yang dibuat dapat mengukur berkisar 0-50 °C dengan tingkat kesalahan relatif terhadap pengukuran dengan AWS berkisar 0.0-3.0% dan untuk kelembaban dapat mengukur berkisar 20-90 % RH (Relative Humidity), dengan tingkat kesalahan relatif pada AWS berkisar 30.9-38.8%.

Kata Kunci : Arduino Uno, Curah hujan, DHT11, Kelembaban Udara, Temperatur, Transduser Optik.

I. PENDAHULUAN

Hampir setiap awal tahun, tingkat curah hujan yang sangat tinggi terjadi di berbagai daerah di Indonesia. Hal ini ditandai dengan terjadinya hujan secara terus-menerus di beberapa tempat yang berpotensi menimbulkan beberapa bencana alam, seperti banjir dan tanah longsor. Oleh karena itu, besarnya curah hujan berbeda-beda menurut waktu dan tempat [1]. Untuk mengetahui besarnya curah hujan dapat dilakukan melalui suatu pengukuran manual maupun otomatis. Pengukuran ini perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi data curah hujan yang terjadi. Salah satu contohnya di bidang budidaya pertanian, data curah hujan sangat berguna sebagai syarat agar tanaman dapat tumbuh optimal [2].

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya telah dirancang dan dibuat penakar hujan berbasis komputer [3]. Alat ini hanya menentukan curah hujan saja dan belum dilengkapi sebuah sistem penyimpanan dan penampil data yang menyatu/melekat (embedded) pada alat. Cara kerja dari alat ini adalah sebagai berikut butiran atau tetesan air hujan tertampung pada sebuah penampung air, selanjutnya keluar atau menetes melalui lubang pipa setelah melalui suatu penyaring. Jungkat-

jungkit akan bergerak naik-turun apabila kejatuhan air dari lubang pipa tersebut. Pergerakan jungkat-jungkit naik-turun akan menyebabkan jarum penghalang akan menghalangi celah rangkaian sensor optik [4]. Penghalangan ini akan menghasilkan sinyal high ataupun low yang akan menjadi input pada komputer. Sinyal tersebut masuk melalui port status dan diteruskan ke unit pengolah pusat komputer (central processing unit, CPU), selanjutnya diolah menggunakan bahasa Turbo C, dan ditampilkan pada monitor berupa data curah hujan dalam satuan millimeter.

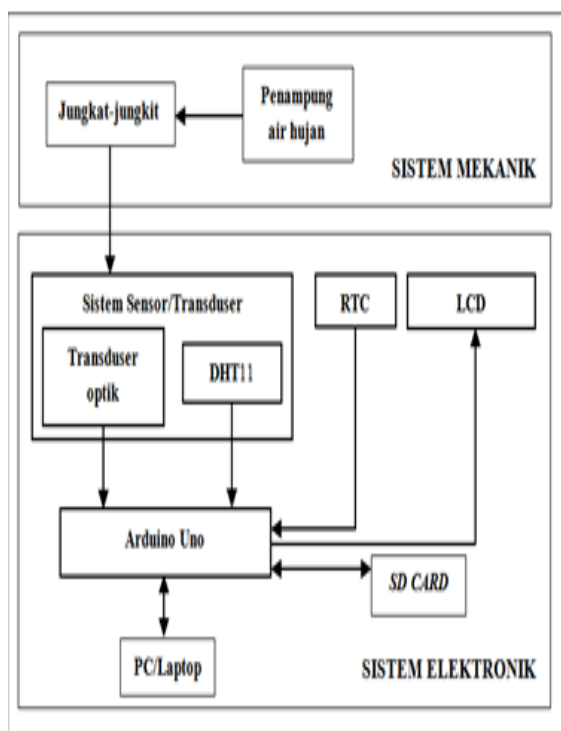
Pada tulisan ini akan dibahas tentang perancangan dan pembuatan penakar hujan yang dapat bekerja secara otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno [5] dengan media penyimpanan data teraman (secure digital card, SD Card) [6]. Dengan demikian sistem pengukuran menjadi lebih sederhana dimana komponen-komponen pendukung seperti Arduino Uno, Modul SD CARD, RTC (real time clock) [7], dan LCD (liquid crystal display) [8] yang harganya ekonomis dan mudah untuk didapatkan di pasaran dalam negeri. Alat ini dilengkapi pula dengan sensor DHT11 [9] untuk temperatur dan kelembaban udara sehingga terdapat tiga variabel pokok yang saling terkait yang akan diukur, ditampilkan, dan disimpan

oleh alat ini. Hal ini yang membedakan alat yang terakhir ini dengan alat sebelumnya.

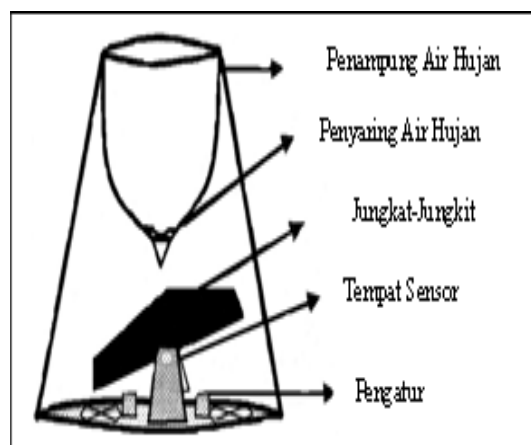
II. BAHAN DAN METODA

Diagram blok alat ukur curah hujan, temperatur, dan kelembaban udara terdiri dari dua bagian utama yaitu sistem mekanik dan sistem elektronik. Pada Gambar 1 diperlihatkan diagram blok sistem mekanik yang terdiri dari penampung air hujan dan jungkat-jungkit serta sistem elektronik yang terdiri dari rangkaian sensor/transduser, Arduino Uno, RTC, SD CARD dan LCD sebagai tampilan. Pada Gambar 2 diperlihatkan desain sistem mekanik.

Penelitian ini dilakukan dalam 4 (empat) tahap yaitu: Tahap pertama dilakukan penelitian yang diarahkan pada perancangan dan pembuatan sistem mekanik. Sistem mekanik pada alat ini meliputi bagian penampung air hujan, penyaring, jungkat-jungkit, tempat posisi sensor dan pengatur jungkat-jungkit.

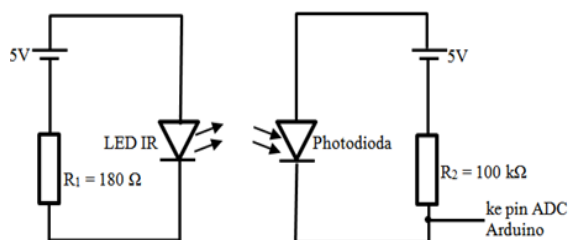


Gambar 1. Diagram blok alat yang dibuat



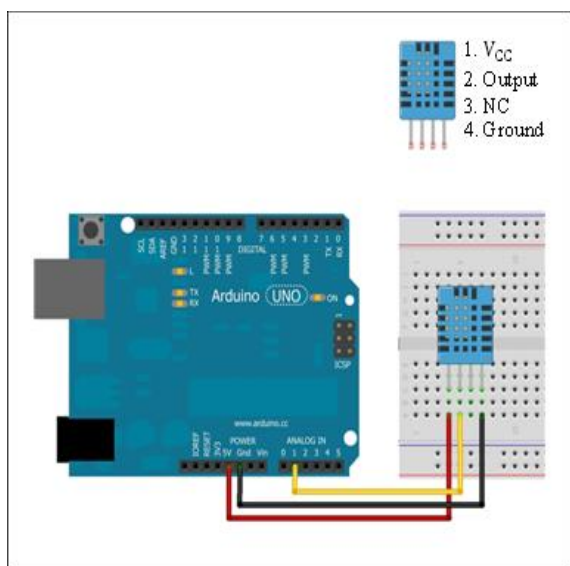
Gambar 2. Desain sistem mekanik

Pada tahap kedua dilakukan perancangan dan pembuatan sistem elektronik yaitu rangkaian sensor. Pada tahap ini dilakukan pengecekan modul rangkaian dan komponen elektronika yang digunakan, perancangan rangkaian dan nilai komponen yang digunakan, dan pembuatan rangkaian sensor optik (Gambar 3) dan rangkaian sensor temperatur dan kelembaban (Gambar 4).

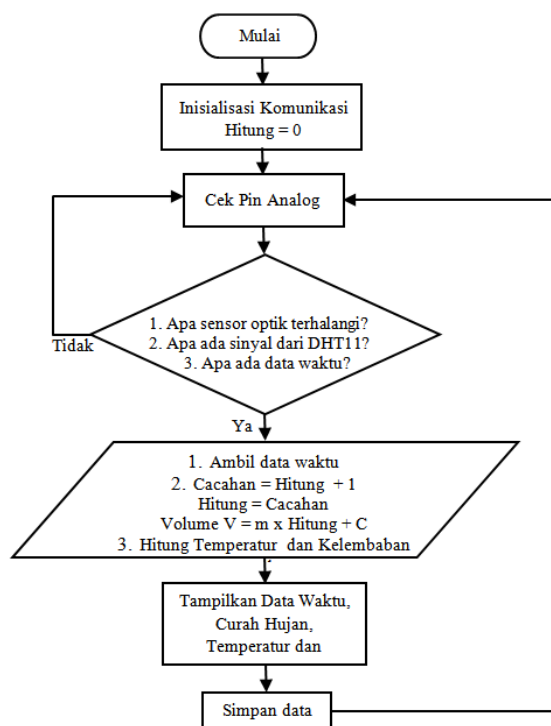


Gambar 3. Rangkaian sensor optik untuk curah hujan

Pada tahap ketiga dilakukan penggabungan sistem mekanik dan sistem elektronik dimana sistem elektronik terhubung dengan PC/laptop melalui kabel USB. Pembuatan program pengendali yang disimpan pada mikrokontroler dilakukan pada tahap keempat. Program pengendali tersebut dibuat mengikuti diagram alir program seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Tahap terakhir adalah pengujian, kalibrasi, dan pengambilan data.



Gambar 4. Rangkaian sensor DHT11 untuk temperatur dan kelembaban.

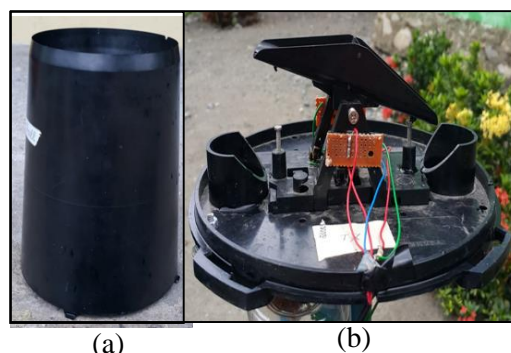


Gambar 5. Diagram alir program pengendali

III. HASIL DAN DISKUSI

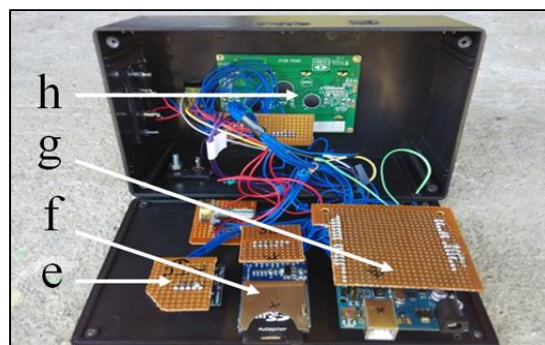
Pada Gambar 6 diperlihatkan sistem mekanik dari alat ukur curah hujan, temperatur dan kelembaban udara yang merupakan hasil rancangan dan pembuatan sesuai dengan tahap pertama. Sistem mekanik ini memiliki bahan, bentuk dan ukuran berdasarkan kesepakatan standar internasional. Bahan terbuat dari plastik yang bersifat kedap air dan tahan panas maupun dingin. Pada Gambar 6a, merupakan penampung

air hujan berbentuk tabung pada bagian luar, dengan tinggi 25 cm sedangkan bagian dalam berbentuk kerucut. Kerucut tersebut berdiameter alas 16 cm sedangkan bagian ujung kerucut berlubang (keluarnya tetesan air) dengan diameter 0,5 cm. Pada Gambar 6b diperlihatkan sistem jungkat-jungkit alat. Sistem ini dirancang sedemikian rupa agar dapat bekerja dengan baik secara bergantian. Bahannya terbuat dari plastik yang kedap air agar tidak ada sisa air pada saat proses pembuangan air. Sistem jungkat-jungkit ini juga dilengkapi dengan penghalang sensor optik yang terletak dibagian bawah sistem ini. Penghalang sinyal atau cahaya sensor terbuat dari plastik yang tidak tembus cahaya. Penghalang ini dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menghalangi cahaya LED IR mengikuti gerakan naik-turunnya jungkat-jungkit.



Gambar 6. Sistem mekanik alat: (a) Penampung air hujan dan (b) sistem jungkat-jungkit.

Pada Gambar 7 diperlihatkan sistem elektronik dari alat ukur curah hujan, temperatur dan kelembaban udara hasil rancangan dan pembuatan sesuai dengan tahap kedua. Sistem ini terdiri dari RTC 1307 (e), SD CARD Module (f), Arduino Uno (g), dan LCD (h) yang akan terhubung dengan transduser optik dan sensor DHT11 yang terletak pada bagian sistem mekanik.

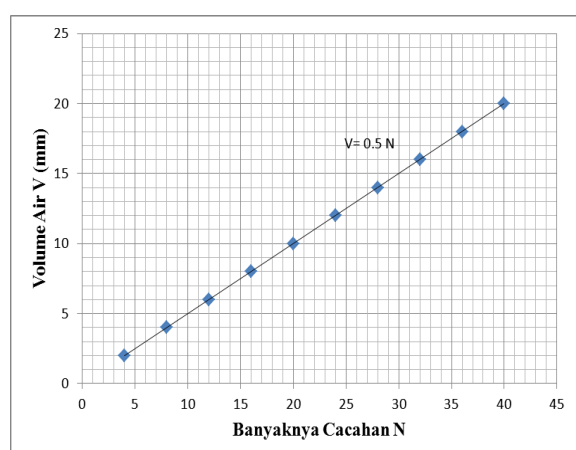


Gambar 7. Sistem elektronik alat

Secara keseluruhan alat yang dibuat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Alat ini terhubung oleh komputer untuk proses pemrograman pada mikrokontroler pada board Arduino Uno. Sebelum pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi alat khususnya bagian pengukuran curah hujan. Untuk pengukuran temperatur dan kelembaban, sensor yang digunakan sudah terkalibrasi dari pabrik dan sulit untuk mengkalibrasinya secara terpisah karena desain yang menyatukan sensor temperatur dan kelembaban. Pada Tabel 1 ditunjukkan banyaknya cacahan dari volume air yang dituang ke bagian penampung. Volume air ini telah disesuaikan takarannya dengan menggunakan gelas ukur standar curah hujan. Hasil kalibrasi ini sangat linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 1. Kalibrasi curah hujan

No	Volume (mm)	Cacahan
1	2.0	4
2	4.0	8
3	6.0	12
4	8.0	16
5	10.0	20
6	12.0	24
7	14.0	28
8	16.0	32
9	18.0	36
10	20.0	40



Gambar 8. Grafik hubungan antara banyaknya cacahan dengan volume air

Setelah proses kalibrasi, alat dioperasikan untuk mengambil data lapangan di lokasi pengoperasian alat BMKG Kota Palu yang

beroperasi di Bandara Sis Aljufri Mutiara Palu. Dengan demikian data curah hujan, temperatur, dan kelembaban yang diperoleh dengan alat yang dibuat dalam penelitian dapat dibandingkan dengan data-data yang sama dari alat ukur yang sesuai milik BMKG tersebut. Pada Tabel 2 diperlihatkan data curah hujan yang diperoleh pada tanggal 22 Juli 2015. Data temperatur dan kelembaban udara seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Pengambilan data lapangan tanggal 22 Juli 2015

No	Waktu	Curah Hujan Alat C_a (mm)	Curah Hujan OBS C_{OBS} (mm)	Kesalahan Relatif (%)
1	15.00-16.00	0.00	0	0
2	16.00-17.00	0.39	0.4	2.5
3	17.00-18.00	0.20	0.2	0

Catatan: OBS = Observasi adalah simbol alat BMKG

Tabel 3. Data lapangan untuk temperatur dan kelembaban udara tanggal 22 Juli 2015

No	Waktu	Alat Ukur		AWS		Error Relatif (%)	
		Temp (°C)	Hum (%)	Temp (°C)	Hum (%)	Temp	Hum
1	15.00	31	37	31	56	0.0	33.9
2	16.00	32	30	33	49	3.0	38.8
3	17.00	34	29	35	42	2.8	30.9

Catatan: AWS = Automatic Weather Station adalah simbol alat BMKG, Temp = temperatur dan Hum = kelembaban

Pengukuran curah hujan digunakan dua alat ukur. Alat ukur yang dimaksud adalah alat ukur curah hujan yang dibuat dan alat ukur curah hujan konvensional (tipe OBS) sebagai pembanding. Data curah hujan hasil pengukuran yang dilakukan tiap 1 jam per hari mulai pukul 15.00 sampai 18.00 WITA secara berkelanjutan (Tabel 2), memiliki tingkat kesalahan relatif yaitu berkisar 0-2.5 %.

Pengukuran dan pengambilan data temperatur menggunakan alat ukur konvensional yaitu termometer air raksa bola kering. Data yang diperlihatkan pada Tabel 3 merupakan data temperatur dan kelembaban udara yang diambil mulai pukul 15.00 sampai 17.00 WITA yang dilakukan tiap jam. Data temperatur tersebut memiliki tingkat kesalahan relatif yang dapat diterima karena masih dibawah 5 % yakni berkisar 0-3.0 %. Kesalahan ini dapat ditimbulkan dari sensor yang tidak dapat dikalibrasi secara manual. Dengan kata lain, sensor ini telah terkalibrasi langsung dari pabrik

dan langsung siap digunakan. Untuk alat ukur BMKG (AWS) telah dikalibrasi yang disesuaikan dengan standar BMKG.

Sama halnya dengan pengukuran dan pengambilan data temperatur, data pengukuran dan pengambilan data kelembaban udara yang diperoleh dari Tabel 3 untuk data kelembaban udara yang dilakukan mulai pukul 15.00-17.00 WITA, memiliki tingkat kesalahan relatif yang cukup besar. Untuk tingkat kesalahan relatif pada AWS berkisar 30.9-38.8 %. Hal ini disebabkan oleh sensor yang tidak dapat dikalibrasi secara manual dan telah terkalibrasi langsung dari pabrik.

IV. KESIMPULAN

Alat penentu curah hujan, dan temperatur dan kelembaban udara yang dibuat telah beroperasi dengan baik dan data yang dihasilkan cukup memuaskan. Pengukuran curah hujan (hujan sesungguhnya) dengan alat yang dibuat memiliki batas pengukuran terkecil sebesar 0.20 mm (millimeter) air hujan. Dari hasil perhitungan, pengukuran dan pengolahan data curah hujan diperoleh tingkat kesalahan relatif berkisar 0-2.5 %. Dari hasil perhitungan, pengukuran dan pengolahan data untuk temperatur dan kelembaban udara diperoleh tingkat kesalahan yang dapat diterima. Kesalahan relatif pengukuran temperatur dengan alat yang dibuat terhadap AWS berkisar 0.0 -3.0 %. Untuk pengukuran kelembaban udara diperoleh kesalahan relatif besar yang berkisar 30.9-38.8 %. Hal ini disebabkan sensor tidak dapat dikalibrasi secara manual karena telah terkalibrasi langsung dari pabrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Tadulako melalui Jurusan Fisika, FMIPA dalam memberi bantuan dana untuk publikasi penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Antoro,A., 2011, Curah Hujan, http://geospasial.blogspot.com/2011_08_01_arch
- [2] ive.html,diakses pada tanggal 30 Mei 2014.Tama, C., 2013, *Mengenal Arti Curah Hujan Dan Cara Membacanya*. <http://chandratama.wordpress.com/2013/03/18/cara-membaca-angka-curah-hujan/>,diakses pada tanggal 30 Mei 2014
- [3] Sundoro, T., 2006, Penakar Hujan Berbasis Komputer: Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA UNTAD, Palu.
- [4] Fraden, J., 2004, Handbook of Modern Sensors Physics, Design, and Application. Third Edition, Springer, New York, USA.
- [5] Evans, B., 2011, Beginning Arduino Programming. First Edition, San Francisco, California, USA.
- [6] Arduino-Info-SD-Card, 2014, Module SD-Cards,<http://arduino-info.wikispaces.com/SD-Cards>, diakses pada tanggal 30 Mei 2014.
- [7] Codehaus, Blogspot., 2012, I2C RTC DS1307 AT24C32 Real Time Clock Module, <http://codehaus.blogspot.com/2012/02/i2c-rtc-ds1307-at24c32-real-timeclock.html>, diakses pada tanggal 2 Maret 2014.
- [8] Fujitsu Inc., 2006, Fundamentals of Liquid Crystal Displays-How They Work and What The, California, USA.
- [9] Gerai Cerdas., 2014, Sensor Suhu dan Kelembaban, <http://www.geraicerdas.com/dht-11-sensor-suhu-dan-kelembaban>, diakses pada tanggal 30 Mei 2014.

Analisis Perubahan Bentuk Sudu Turbin Terhadap Efisiensi Daya Mekanik Yang Dihasilkan

Syahir Mahmud* dan Suendy Ciayadi Kwang**

Jurusan Elektro, UAJM, Makassar, Indonesia

*Email : syahir@mut.co.id

**Email : suendy.ciayadi@gmail.com

ABSTRAK

Masalah krisis energi sudah menjadi salah satu masalah yang belum terselesaikan hingga saat ini, di Indonesia sendiri masih banyak sumber energi non-konvensional yang belum dimanfaatkan dengan maksimal. Akibat krisis energi dan kebutuhan energi yang terus meningkat, maka sumber daya yang tersedia harus dimanfaatkan semaksimal mungkin, salah satunya adalah sumber energi tenaga air. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin Darrieus, Savonius, dan Darrieus-Savonius. Turbin Darrieus-Savonius merupakan modifikasi bentuk dari turbin Darrieus dan turbin Savonius. Dengan membandingkan efisiensi daya mekanik pada masing – masing turbin tersebut, maka dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh jenis turbin yang dapat bekerja secara maksimal. Telah dilakukan pengukuran kecepatan aliran air, suhu air, putaran turbin, dan gaya pada poros masing – masing jenis turbin. Hasil analisis pengukuran diperoleh kecepatan aliran 0,637 m/s, daya aliran air 44,827 Watt, daya turbin terbesar yang dihasilkan yaitu 29,927 Watt dengan gaya pada poros sebesar 17 N yang dihasilkan oleh turbin Darrieus-Savonius. Efisiensi terbesar yaitu sebesar 66,76 % yang dihasilkan oleh turbin Darrieus-Savonius. Secara keseluruhan turbin yang dapat bekerja dengan baik dan maksimal pada ketiga lokasi adalah turbin Darrieus-Savonius.

Kata kunci : Efisiensi, turbin Darrieus-Savonius.

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi tenaga air yang sangat besar yakni 75,67 GW untuk skala besar dan 712 MW untuk pembangkit sedang dan kecil. Potensi ini baru sedikit yang dimanfaatkan yakni 4200 MW untuk skala besar dan 206 MW untuk skala kecil. Indonesia memiliki sumber daya air yang melimpah. Dilatar belakangi oleh krisis energi listrik dan kebutuhan energi yang terus meningkat, maka sumber daya yang ada dimanfaatkan semaksimal mungkin. Secara umum potensi listrik yang bersumber dari energi terbarukan belum dimanfaatkan secara optimal, salah satunya adalah sumber energi tenaga air^[1].

Sebagai negara dengan wilayah lautan yang cukup besar membuat Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan energi alternatif dari laut. Sebagai negara kepulauan yang besar, laut Indonesia menyediakan sumber energi alternatif yang meliputi antara lain energi panas laut, energi arus akibat pasang surut, energi gelombang laut dan energi arus laut. Keuntungan penggunaan energi arus laut adalah selain ramah lingkungan, energi ini juga mempunyai intensitas energi kinetik yang besar. Pemanfaatan sumber energi arus laut digunakan sebagai penyedia energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air. Salah satu permasalahan adalah bagaimana memanfaatkan

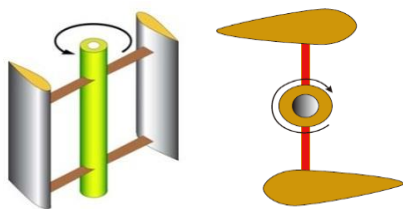
potensi energi aliran arus laut. Maka dari itu guna memanfaatkan dan meningkatkan potensi energi aliran arus laut diperlukan penelitian. Pemanfaatan energi air pada penelitian ini adalah pemanfaatan energi kinetik aliran air^[2].

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Kata "*turbine*" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad ke-19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "*whirling*" (putaran) atau "*vortex*" (pusaran air). Turbin air ini biasanya digunakan untuk tenaga industri pada jaringan listrik. Sekarang lebih umum dipakai untuk generator listrik. Turbin air kini dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharukan. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator^[5].

A. Turbin Darrieus

Turbin Darrieus merupakan salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh seorang *aeronautical engineer* asal Prancis yang bernama Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1931. Pada awalnya turbin jenis ini dikembangkan sebagai turbin angin yaitu jenis VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) yang

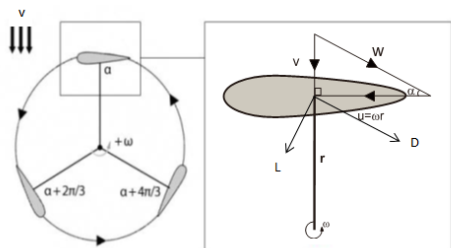
memiliki keunggulan dibanding jenis turbin HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) diantaranya tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuknya yang simetri, tekanan gravitasi tidak mampu balik pada bentuk sudunya, mampu beroperasi pada head dan kecepatan yang rendah, untuk aplikasi skala kecil, biaya rendah, kebisingan rendah, desain sudu sederhana sedangkan kelemahannya adalah ketidak mampuan melakukan *self-starting*, dan efisiensi yang rendah.



Gambar 1. Turbin Darrieus

Prinsip kerja turbin Darrieus adalah akibat kecepatan aliran air maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya hidrodinamis. Gaya angkat (*lift*) dihasilkan karena bentuk airfoil dari sudu turbin. Sudu-sudu ini memotong udara dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang mengakibatkan gaya angkat, yang mana mendorong sudu bergerak ke depan. Untuk mendorong turbin, torsi yang disebabkan oleh gaya angkat harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) sehingga menghasilkan torsi netto.

Besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin Darrieus merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran air. Untuk mengetahui daya turbin Darrieus terlebih dahulu harus diketahui vektor gaya dan kecepatan pada hidrofoilnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Vektor gaya dan kecepatan pada hidrofoil

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa *angle of attack* atau sudut serang (α) merupakan sudut chord (c) dan kecepatan efektif aliran atau juga biasa disebut kecepatan relatif aliran (w). Kecepatan relatif aliran (w) merupakan jumlah dari vektor kecepatan aliran arus laut (v) dan vektor kecepatan sudu (u). Kecepatan relatif aliran merupakan kecepatan yang berpengaruh langsung terhadap gaya – gaya pada hidrofoil dimana kecepatan ini tegak lurus terhadap arah gaya angkat (*lift*) dan sejajar terhadap arah gaya hambat (*drag*). Nilai kecepatan relatif dapat diperoleh melalui rumus berikut:^[7]

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \vec{u} + \vec{w} \\ \vec{w} &= \vec{v} - \vec{u} \\ \vec{w} &= \vec{v} - (\omega \times r)\end{aligned}\quad (1)$$

Keterangan :

\vec{w} = vektor kecepatan relatif

\vec{v} = vektor kecepatan aliran air laut

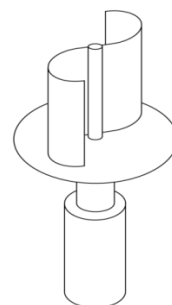
\vec{u} = vektor kecepatan sudu turbin

r = jari-jari turbin (m)

B. Turbin Savonius

Turbin dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922). Turbin yang termasuk dalam kategori VAWT ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder.

Turbin Savonius adalah jenis turbin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah air yang menumbuk sudu. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga sudu yang disusun sedemikian rupa sehingga jika dilihat dari atas akan terlihat seperti membentuk huruf S.^[8]



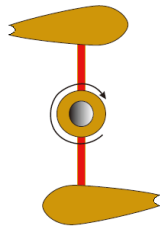
Gambar 3. Turbin Savonius

Turbin jenis *drag* umumnya memiliki koefisien daya yang relatif rendah karena banyak terjadi rugi-rugi yang ditimbulkan oleh turbulensi yang terjadi. Kecepatan putar rotornya juga relatif

rendah. Turbin jenis *lift* memiliki koefisien daya yang relatif besar dan kecepatan sudut rotor yang relatif tinggi dibandingkan dengan turbin angin jenis *drag*.^[9]

C. Turbin Darrieus-Savonius

Turbin Darrieus-Savonius adalah turbin yang sudunya dimodifikasi secara teoritik dan merupakan perpaduan bentuk dari sudu turbin Darrieus dan Savonius dan selanjutnya disebut turbin Darrieus-Savonius.^[10]



Gambar 4. Turbin Darrieus-Savonius

D. Daya Aliran Air

Daya yang dihasilkan oleh turbin arus laut jauh lebih besar dari pada daya yang dihasilkan oleh turbin angin, karena massa jenis air laut lebih besar dari massa jenis udara. Daya adalah energi per satuan waktu. Kapasitas daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan pendekatan matematis yang memformulasikan daya yang melewati suatu permukaan atau luasan, maka rumus umum yang digunakan adalah formulasi Fraenkel (1999) yaitu:

$$P_a = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

Massa yang digunakan adalah laju massa aliran air, maka laju massa aliran air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{m} = \rho \times Q$$

Keterangan :

\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

Q = debit air (m³/s)

Maka daya air dapat dirumuskan menjadi :

$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times v^2$$

Dengan menggunakan persamaan kontinuitas yaitu Volume air per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah^[1] :

$$Q = A \times v$$

Maka

$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (3)$$

Keterangan :

P_a = daya air yang mengalir (Watt)

A = luas permukaan sudu turbin (m²)

v = kecepatan aliran air (m/s)

E. Torsi Pada Turbin

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut. Besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan^[10]:

$$T = F \times r \quad (4)$$

Keterangan :

T = torsi (Nm)

F = gaya pada poros turbin (N)

r = jari – jari turbin (m)

F. Daya Mekanik Turbin

Perhitungan daya pada gerak melingkar pada umumnya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_t = T \times \omega \quad (5)$$

Keterangan :

T = torsi (Nm)

ω = kecepatan anguler (rad/s)

Jika pada turbin air besarnya kecepatan anguler atau kecepatan sudut (ω) dirumuskan sebagai^[1]

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (6)$$

Keterangan :

ω = kecepatan anguler (rad/s)

n = putaran turbin (rpm)

π = 3.14

G. Efisiensi Turbin

Untuk menyatakan performa suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan dengan daya yang diberikan. Semakin besar efisiensi yang dihasilkan maka semakin bagus mesin itu bekerja. Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan^[1] :

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

η = efisiensi daya mekanik (%)

P_t = daya mekanik turbin (Watt)

P_a = daya air yang mengalir (Watt)

II. METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental berupa penelitian langsung terhadap turbin yang digunakan. Kemudian melakukan pengukuran terhadap putaran dan torsi pada poros turbin, pencatatan data, dan menganalisa hasil dari daya air, daya turbin dan efisiensi mekanik turbin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian

Dalam melakukan penelitian ukuran turbin, gaya, kecepatan aliran, suhu air, dan putaran turbin harus diketahui dengan jelas sehingga dalam proses perhitungan selanjutnya didapatkan hasil yang akurat. Pengukuran parameter turbin dilakukan pada kecepatan rata – rata aliran air sebesar 0,637 m/s. Gaya poros turbin pada saat pengujian turbin adalah sebesar 7 N, 12 N, dan 17 N. Suhu air yang diukur pada lokasi penelitian adalah sebesar 28°C.

B. Analisis Turbin Darrieus

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh, dapat diketahui bahwa pada saat gaya poros turbin sebesar 7 N dan putaran sebesar 35,4 rpm menghasilkan daya mekanik turbin setara dengan 9,013 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 20,11 %. Pada saat gaya poros turbin sebesar 12 N dan putaran sebesar 33,6 rpm menghasilkan daya mekanik setara dengan 14,665 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 32,71 %. Pada saat gaya poros turbin sebesar 17 N dan putaran sebesar 32,8 rpm menghasilkan daya mekanik setara dengan 20,281 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 45,24 %.

C. Analisis Turbin Savonius

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh, dapat diketahui bahwa pada saat gaya poros turbin sebesar 7 N dan putaran sebesar 68,5 rpm menghasilkan daya mekanik turbin setara dengan 17,440 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 38,91 %. Pada saat gaya poros turbin sebesar 12 N dan putaran sebesar 45,3 rpm menghasilkan daya mekanik setara dengan 19,772 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 44,11 %. Pada saat gaya poros turbin sebesar 17 N dan putaran sebesar 32,7 rpm menghasilkan daya mekanik setara dengan 20,219 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 45,10 %.

D. Analisis Turbin Darrieus-Savonius

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh, dapat diketahui bahwa pada saat gaya poros turbin sebesar 7 N dan putaran sebesar 69,5 rpm menghasilkan daya mekanik turbin setara dengan 17,695 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 39,47 %. Pada saat gaya poros turbin sebesar 12 N dan putaran sebesar 51,1 rpm menghasilkan daya mekanik setara dengan 22,303 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 49,75 %. Pada saat gaya poros turbin sebesar 17 N dan putaran sebesar 48,4 rpm menghasilkan daya mekanik setara dengan 29,927 Watt, dan menghasilkan efisiensi sebesar 66,76 %.

Darrieus-Savonius

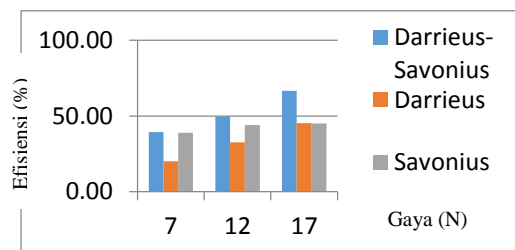
F (N)	n (rpm)	v (m/s)	r (m)	T (Nm)	w (rad/s)	Pt (Watt)	Pa (Watt)	η (%)
7	69,5	0,637	0,3475	2,4325	7,274	17,695	44,827	39,47
12	51,1	0,637	0,3475	4,17	5,348	22,303	44,827	49,75
17	48,4	0,637	0,3475	5,9075	5,066	29,927	44,827	66,76

Darrieus

F (N)	n (rpm)	v (m/s)	r (m)	T (Nm)	w (rad/s)	Pt (Watt)	Pa (Watt)	η (%)
7	35,4	0,637	0,3475	2,4325	3,705	9,013	44,827	20,11
12	33,6	0,637	0,3475	4,17	3,517	14,665	44,827	32,71
17	32,8	0,637	0,3475	5,9075	3,433	20,281	44,827	45,24

Savonius

F (N)	n (rpm)	v (m/s)	r (m)	T (Nm)	w (rad/s)	Pt (Watt)	Pa (Watt)	η (%)
7	68,5	0,637	0,3475	2,4325	7,170	17,440	44,827	38,91
12	45,3	0,637	0,3475	4,17	4,741	19,772	44,827	44,11
17	32,7	0,637	0,3475	5,9075	3,423	20,219	44,827	45,10



Gambar 5. Hasil perhitungan dan pengukuran turbin

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil pengukuran diperoleh turbin Darrieus dapat menghasilkan efisiensi maksimal pada saat gaya poros sebesar 17 N yaitu sebesar 45,24 %.
2. Pada hasil pengukuran diperoleh turbin Savonius dapat menghasilkan efisiensi maksimal pada saat gaya poros sebesar 17 N yaitu sebesar 45,10 %.
3. Pada hasil pengukuran diperoleh turbin Darrieus-Savonius dapat menghasilkan

- efisiensi maksimal pada saat gaya poros sebesar 17 N yaitu sebesar 66,76 %.
4. Berdasarkan data – data hasil pengukuran dan perhitungan yang diperoleh, turbin yang dapat bekerja dengan baik dan ideal adalah turbin Darrieus-Savonius.
 5. Berdasarkan efisiensi yang dihasilkan, pemasangan turbin paling baik pada saat gaya poros sebesar 17 N.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun secara tidak langsung dalam proses pembuatan turbin hingga sampai pada proses pengukuran turbin dan sampai pada selesainya pembuatan laporan penelitian ini. Terima kasih juga kepada BKPM, BKBP, dan PDAM kota Makassar yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Muhammad Irsyad. 2010. *Kinerja Turbin Air Tipe Darrieus Dengan Sudu Hydrofoil Standar NACA 6512*. Lampung. Program Studi Teknik Mesin Universitas Lampung.
- [2] Andi Trimulyono, Berlian Arswendo A. 2012. *Perancangan Turbin Arus Laut Untuk Daerah Pesisir Pantai Tipe Kobold Dengan Bilah HLIFT Dan NACA 0018 Yang Dimodifikasi Dengan Computational Fluid Dynamic*. Semarang. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [3] Anonim. 2015. Laut Sumber Energi Raksasa Terbaharui <http://www.alpensteel.com/article/119-106-energi-laut-ombak-gelombang/526-laut-sumber-energi-raksasa-terbaharui> diakses 06 Maret 2015.
- [4] Anonim. 2014. Arus Laut Sebagai Sumber Energi Listrik, (<http://www.getsttpln.com/2014/03/arus-laut-sebagai-sumber-energi-listrik.html>) diakses 06 Maret 2015
- [5] Emil Mosonyi, Akademia Kiado, Budapest. 2012. *Water Power Development, Low-Head Power Plants*. Vol. 1.
- [6] Ridha Faturachmi, Indah Kartika, Dika Kustiani. 2015. *Turbin Air*. Jakarta Pusat.
- [7] Sudargana dan R, Guruh Kis Yuniarso. 2012. *Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik Cl Dan Cd Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier Pada Matlab*. Semarang. Program Studi Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- [8] Ruzita Sumiati. 2012. *Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang*. Padang. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang.
- [9] Marizka Lustia Dewi. 2010. *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimalisasi Kinerja Turbin*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- [10] Syahir Mahmud, M.T., Ir., Viktus K. Koten, M.T., ST., Stevy Thioritz, M.T., Ir., 2014. *Desain Dan Uji Karakteristik Turbin Darrieus-Savonius Pada Proses Pemanfaatan Arus Laut Menjadi Energi Mekanik*. Makassar. Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.
- [11] Richard Pietersz, Rudy Soenoko, Slamet Wahyudi. 2013. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal*. Malang. Program Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
- [12] Esti Anugraheni M, Huni Hindrati, Suryatin Ardiningsih, M. Martha Ayuhans, Silvia Haryanti. 2014. *Laporan Praktikum Fluida Archimedes Dan Massa Jenis*. Surabaya. Program Studi Pendidikan Sains Universitas Negeri Surabaya.
- [13] Sularso dan Kiyokatsu Suga. *Dasar-dasar Perencanaan Elemen Mesin*. ITB. Bandung
- [14] E. R. G. Eckert dan R. M. Drake. *Analysis of Heat Mass Transfer*. McGraw-Hill. New York

Uji Nilai Kalor Briket dengan Komposisi Kayu Pohon Asam, Kotoran Sapi dan Serbuk Gergaji Sebagai Pengganti Bahan Bakar Alternatif

Muh. Said L*, Sri Wahyuna dan Hernawati

Prodi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar Kampus 2 Samata Gowa 92113

*Email : muhmmadsaidlanto83@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar nilai kalor briket pada komposisi bahan kayu pohon asam, kotoran sapi dan serbuk gergaji. Penelitian ini terdiri dari dua tahap proses yaitu tahap pertama proses pembuatan briket dengan menggunakan komposisi bahan bervariasi dan ukuran partikel bahan 25 mesh dan tahap kedua proses pengujian nilai kalor menggunakan kalorimeter bomb. Pada proses pengujian beberapa parameter terukur yaitu suhu sebelum dan sesudah pemanasan serta lama pemanasan bahan. Berdasarkan hasil penelitian bahwa jenis briket yang memiliki nilai kalor yang tertinggi dengan komposisi bahan kayu pohon asam : 50 gram, serbuk gergaji : 25 gram, kotoran sapi : 10 gram, bahan perekat : 15 gram, diperoleh nilai kalor yang dihasilkan sebesar 4696,8990 kal/gram. Sedangkan jenis briket yang memiliki nilai kalor terendah dengan komposisi bahan yang digunakan adalah kayu pohon asam : 15 gram, serbuk gergaji : 15 gram, kotoran sapi : 35 gram, dan serbuk gergaji : 35 gram, diperoleh nilai kalor yang dihasilkan adalah sebesar 3174, 7376 kal/gr. Hasil nilai kalor tertinggi ini telah memenuhi nilai standar USA untuk kalor briket batu bara.

Kata Kunci: bahan bakar alternatif, briket, kalor, komposisi bahan, suhu.

I. PENDAHULUAN

Sampah dan limbah selama ini hanya dilihat dari sisi negatifnya saja sebagai hal yang tidak bermanfaat dan menimbulkan banyak dampak yang merugikan. Segala sesuatu yang di alam semesta ini tidak ada yang sia-sia, maka sampah dan limbah biomassa memiliki manfaat yang sangat besar bagi kehidupan manusia. Tidak hanya dapat didaur ulang sebagai sumber energi alternatif yang dapat digunakan sebagai kebutuhan manusia. Salah satu energi yang dapat digunakan sebagai energi adalah bahan pengganti minyak tanah.

Oleh karena itu, usaha untuk mencari bahan bakar alternatif yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan semakin banyak dilakukan. Usaha manusia dalam mencari pengganti sumber energi harus didasarkan pada bahan bakunya mudah untuk diperoleh dan diperbarui. Dan salah satu contoh sumber energi alternatif tersebut adalah bahan briket.

Pengujian briket telah dilakukan sebelumnya oleh Santosa, dkk (2010, P.25163), dengan berbagai variasi komposisi penggunaan kotoran sapi dengan limbah pertanian (sekam, jerami, dan tempurung kelapa). Perlakuan yang telah diuji menggunakan perbandingan 1:1, 1:2, dan 1:3 dengan 3 kali ulangan tiap-tiap perlakuan. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa briket terbaik terdapat pada komposisi kotoran sapi : limbah pertanian adalah 1:3 dengan nilai kalor

4.527,22 kal/gr, dengan karakteristik dari tiap-tiap perlakuan komposisi briket menunjukkan bahwa dengan meningkatnya proporsi penggunaan limbah pertanian sebagai bahan baku briket mampu meningkatkan kadar karbon, nilai kalor, kerapatan dan kuat tekan, serta mampu menurunkan kadar air dan kadar abu. Hasil penelitiannya juga diperoleh bahwa nilai kalor berpengaruh terhadap laju pembakaran, semakin tinggi nilai kalor briket maka laju pembakaran briket semakin tinggi.

Asam jawa (*Tamarindus indica*) merupakan tanaman tropis penghasil buah, Asam jawa juga dikategorikan pohon multiguna karena hampir seluruh bagian pohonnya dapat dimanfaatkan. Kayu asam jawa dapat digunakan sebagai bahan mebel, kayu bakar dan arang. Kayu pohon asam masih banyak digunakan oleh masyarakat pedesaan sebagai bahan kayu bakar untuk memasak.

Serbuk gergaji dipilih sebagai bahan campuran pembuatan briket pada penelitian ini, karena masih banyak masyarakat yang tidak mengetahui cara pemanfaatan serbuk gergaji, serbuk gergaji memiliki nilai kalor yang tinggi yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif. Begitupun dengan kotoran sapi yang juga memiliki nilai kalor yang tinggi. Kotoran sapi termasuk unsur yang penting dalam pembuatan briket yang fungsinya agar briket yang dihasilkan mudah terbakar.

Penelitian ini telah dilakukan untuk membuat briket sebagai bahan bakar alternatif dengan komposisi bahan yang bervariasi yaitu bahan kayu pohon asam, serbuk gergaji dan kotoran sapi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai kalor yang dihasilkan pada briket dengan komposisi bahan kayu pohon asam, campuran kotoran sapi dan serbuk gergaji.

II. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini telah dilakukan di laboratorium Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar dan proses pengujian nilai kalornya dilakukan di Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Samata-Gowa. Adapun alat dan bahan yang di gunakan pada penelitian ini terdiri dari beberapa bagian yaitu alat pencetak briket, ayakan, blender, kalorimeter bomb, mistar, neraca analitik, oven, air, aluminium foil, kotoran sapi, kayu pohon asam, serbuk gergaji, tepung tapioka (kanji).

Dalam penelitian ini beberapa variabel penelitian yaitu:

1. Variabel terikat yaitu nilai kalor bahan briket.
2. Variabel bebas yaitu bahan kulit pohon asam, kotoran sapi, serbuk gergaji.
3. Variabel kontrol yaitu komposisi bahan yang telah digunakan.

Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap proses yaitu:

1. Proses Pembuatan Briket Proses kerja yang dilakukan adalah:
 - a. Menyiapkan bahan-bahan yang digunakan.
 - b. Mengeringkan masing-masing semua bahan yang ditelaah buat selama 2 hari di bawah sinar matahari (keadaan cerah)
 - c. Bahan-bahan diarsikan menggunakan oven pada suhu 200°C . Kemudian menghaluskan bahan-bahan yang sudah dioven dengan menggunakan blender, selanjutnya diayak dengan ukuran 25 mesh.
 - d. Menimbang bahan yang dicampurkan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan sehingga total massa bahan campuran menjadi 100 gram untuk setiap briketnya.
 - e. Bahan yang sudah dicampur diaduk hingga merata (homogen).
 - f. Memasukan adonan ke dalam alat pencetak berupa pipa paralon berdiameter

6.33 cm yang terbuat dari pipa, kemudian Mencatat nilai volume titran.

- g. Mengukur panjang kawat yang terbakar.
- h. Menghitung nilai kalor sampel dengan persamaan:

$$H_{\text{gross}} = \frac{W \cdot T - C_1 - C_2 - C_3}{m} \quad (1)$$

dengan:

$$T = T_c - T_a - [(r_1(b-a))] - [(r_2(c-b))] \quad (2)$$

- i. memadatkan dengan cara menekannya ke bawah sampai rapat.
- j. Mengeluarkan hasil cetakan briket setelah terbentuk, kemudian menjemur selama 2 hari kembali di bawah sinar matahari.
- k. Hasil cetakan briket dihasilkan berupa briket bentuk silinder, yang kemudian semua hasil cetakan ditimbang dengan menggunakan neraca digital.

2. Uji Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dari masing-masing komposisi briket dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Briket yang akan diuji sebelumnya ditumbuk menggunakan penumbuk kemudian hasil tumbukan tersebut ditimbang ± 1 gram sampel ke dalam cawan besi.
- b. Menyiapkan rangkaian alat kalorimeter bomb, memasang cawan ke rangkaian bomb kalorimeter.
- c. Menghubungkan rangkaian bom kalorimeter dengan cawan platina dan berbentuk V dan mengupayakan kawat menyentuh sampel tidak menyentuh wadah.
- d. Memasukan aquades sebanyak 1 mL dalam bejana kalorimeter bomb, dan memasang rangkaian penutup pada wadahnya.
- e. Membuka aliran gas dengan memutar ke arah kanan dan mengisi gas pada wadah kalorimeter bomb dengan memberi tekanan 25-30 atm dengan ke arah kiri dan melepas tekanannya.
- f. Memasukan ± 2 L aquades pada jaket kalorimeter bomb dan memasang wadah kalorimeter bom pada jaketnya. Memastikan posisi dalam keadaan tepat.
- g. Menutup wadah jaket dan memasang karet di atas wadah penutup kalorimeter bom kemudian menjalankan karetnya dengan memutar ke kanan dan secara

bersamaan menekan tombol *ON* termometer.

- h. Mencatat kenaikan suhu pada menit ke-5 sampai ke-10 dan menekan tombol di bakar pada menit ke-10 kemudian mencatat suhu pada menit ke-18 sampai sampai menit ke-24.
- i. Menekan tombol *OFF* pada termometer dan menghentikan perputaran karet dengan memutar ke kanan .
- j. Membuka penutup dan mengambil wadah dan membersihkan dari air dan membuka aliran gasnya.
- k. Membilas seluruh permukaan wadah kalorimeter bomb dengan aquades kemudian menitrasi hasil pembakaran dengan Na_2CO_3 , 0,07 N dengan menggunakan indikator MO.

Keterangan:

H_{gross} = nilai kalor yang dihasilkan bahan briket (kal/gr)

W = kapasitas kalor kalorimeter bomb (kal/ $^{\circ}\text{C}$)

T = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

C_1 = faktor koreksi nitrat (2,5 mL)

C_2 = faktor koreksi nitrat (13,9 kal)

C_3 = faktor kawat terbakar (17,71 kal)

m = massa bahan briket (gr)

r_1 = perubahan temperatur sebelum dipanaskan ($^{\circ}\text{C}$)

r_2 = perubahan temperatur setelah dipanaskan ($^{\circ}\text{C}$)

Komposisi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi bahan yang bervariasi

Kode Sampel	Kayu pohon asam (gram)	Serbuk gergaji (gram)	Kotoran sapi (gram)	Bahan pelekat (gram)
A1	40	25	20	15
A2	40	15	25	20
A3	40	10	20	30
B1	50	25	10	15
B2	40	25	15	20
B3	30	25	20	25
C1	10	30	35	25
C2	15	15	35	35
C3	25	10	35	30

*) massa total yang dibuat dalam satu jenis briket adalah 100 gram.

III. HASIL DAN DISKUSI

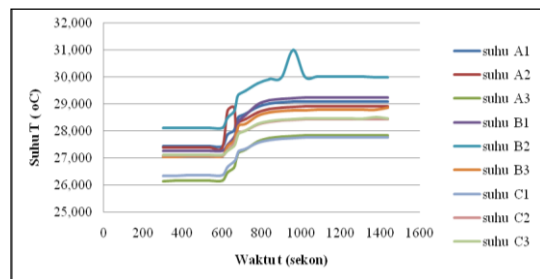
Penelitian ini meliputi proses pembuatan briket, dan pengujian nilai kalor dengan menggunakan alat kalorimeter bomb. Penelitian ini menggunakan bahan perekat dari tepung kanji dan air, tepung kanji dicampurkan dengan air dan dimasak sehingga menjadi lem, alat cetakan briket terbuat dari pipa paralon berukuran 6.33 cm. Pengujian nilai kalor sebanyak 9 briket, dengan masing-masing briket memiliki komposisi yang bervariasi. Berikut hasil pembuatan briketnya yaitu:



Gambar 1. Hasil briket yang telah dibuat

Untuk menguji nilai kalornya, terlebih dahulu diuji satu persatu bahan briket dalam kalorimeter bomb selama 24 menit atau 1.440 sekon dengan interval waktu yang ditentukan. Berikut hasil pengukuran suhu ke sembilan briket yang kemudian hasilnya dapat diplot dalam bentuk grafik hubungan antara waktu pemanasan terhadap pengaruh suhu yaitu:

Pada grafik 1. di atas terlihat tiga keadaan suhu yaitu suhu awal pemanasan bahan, suhu pemanasan bahan dan suhu konstan.



Gambar 1. Hubungan Waktu Pemanasan t (Sekon) terhadap suhu pemanasan bahan ($^{\circ}\text{C}$)

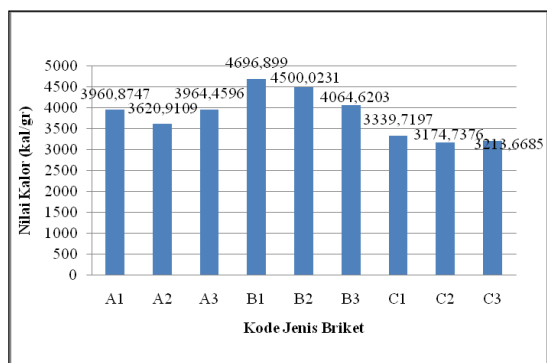
Terlihat bahwa bahwa suhu briket B2 dengan komposisi 40 gr kayu pohon asam; 25 gr serbuk gergaji; 15 gr kotoran sapi dan 20 gr bahan

pelekat telah memiliki suhu yang paling tinggi, dan terjadi keadaan yang berbeda peningkatannya dengan suhu briket lainnya. Hal ini disebabkan oleh karena pada saat pengujian terjadi kesalahan pada penggunaan penambahan aquades yang tidak diganti. Penambahan aquades serta penggantian bahan setiap pengujian pemanasan bahan briket dapat berpengaruh terhadap kenaikan suhu.

Setelah diperoleh hasil pengukuran suhu, selanjutnya dianalisis dan dihitung uji nilai kalornya dengan persamaan (1) dan (2). Hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil analisis nilai kalor setiap briket yang dihasilkan

Kode Jenis Briket	Nilai kalori (kal/gram)
A1	3960,8747
A2	3620,9109
A3	3964,4596
B1	4696,899
B2	4500,0231
B3	4064,6203
C1	3339,7197
C2	3174,7376
C3	3213,6685



Gambar 2. Hasil nilai kalor untuk semua jenis briket yang diuji.

Berdasarkan pada grafik di atas bahwa yang memiliki nilai kalor briket yang lebih tinggi dari sembilan briket adalah briket jenis B1 dimana komposisinya kayu pohon asam adalah 50 gram : serbuk gergaji : 25 gram, kotoran sapi : 10 gram, dan bahan perekatnya : 15 gram. Pada jenis briket B1 tersebut nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 4696,899 kal/gram. Hal ini disebabkan karena komposisinya kayu pohon asam lebih tinggi, dimana pohon asam memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan serbuk gergaji dan kotoran sapi, selain bahan yang mempengaruhi

tinggi nilai kalor, lem bahan perekat juga mempengaruhi tinggi nilai kalor karena komposisi bahan perekat pada briket B1 15 gram yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan komposisi briket lainnya. Seperti pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh (Muhammad Faizal, dkk, 2014) bahwa semakin rendah komposisi suatu bahan perekat maka nilai kalor yang dihasilkan semakin tinggi pula, sebaliknya semakin tinggi komposisi bahan perekat maka semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan briket tersebut. Penambahan perekat juga menyebabkan nilai kalor briket semakin berkurang karena bahan perekat memiliki sifat termoplastik artinya serta sulit terbakar dan membawa lebih banyak air sehingga panas yang dihasilkan terlebih dahulu digunakan menguapkan air dalam briket. Nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi standar nilai kalor briket batu bara USA yaitu 4000-65000 kal/gr (Sumber: Hendra, 1999 dalam Sunyata dan Wulur, 2008).

Nilai briket yang paling rendah pada briket yang dibuat pada penelitian ini adalah jenis briket C2, dimana komposisi bahan yang digunakan adalah kayu pohon asam : 15 gram, serbuk gergaji : 15 gram, kotoran sapi: 35 gram dan bahan perekat 35 gram. Pada briket C2 komposisi yang digunakan untuk membuat briket lebih tinggi komposisi lem (bahan perekatnya) dibandingkan dengan komposisi bahan-bahan yang lain seperti kayu pohon asam, serbuk gergaji dan kotoran sapi. Nilai kalor briket yang dihasilkan pada jenis briket C2 adalah 3174,7376 kal/gram.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, briket B1 dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif minyak tanah karena telah memenuhi standar briket batu bara (USA). Standar nilai kalor briket batu bara kalor USA adalah 4000-6500 kal/gram, sedangkan nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 4696,899 Kal/gram.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil uji nilai kalor briket yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai kalor briket pada komposisi bahan kayu pohon asam, kotoran sapi dan serbuk gergaji yang memiliki nilai kalor tertinggi yaitu jenis briket B1 dengan komposisi bahan kayu pohon asam : 50 gram, serbuk gergaji : 25 gram, kotoran sapi : 10 gram dan bahan perekat : 15 gram, dengan nilai kalor yang dihasilkan sebesar 4696,8990

kal/gram. Sedangkan nilai uji kalor yang terendah adalah briket C2 dengan komposisi bahan kayu pohon asam : 15 gram, serbuk gergaji : 15 gram, kotoran sapi : 35 gram dan bahan perekat : 35 gram, sebesar 3174,7376 kal/gram. Hasil uji nilai kalor telah memenuhi nilai standar kalor briket batu bara yang ditetapkan oleh USA yaitu 4000-65000 kal/gr.

Saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk peneliti selanjutnya sebaiknya bahan yang digunakan, menggunakan bahan yang lain misalnya limbah sampah dan sebagainya.
2. Diharapkan bagi penelitian selanjutnya menggunakan bahan perekat yang berbeda seperti getah karet dan memperhatikan komposisi yang digunakan.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, kerapatan dan kuat tekan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Jurusan Kimia yang telah memberikan izin penelitian, serta laborannya St. Rahma, S.Si. yang telah membantu peneliti untuk melaksanakan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Bakhtiar, dkk, 2010. *Penerapan Biofertilizer Coated Seed pada Benih Tumbuh Mandiri Untuk Mendukung Reboisasi dan Reklamasi Lahan*. Tangerang: Balai Pengkajian Bioteknologi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [2] Fairus, Sirin, dkk. 2011. *Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Alternatif Energi: Biogas dan Precursor Briket*. Bandung: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional.
- [3] Faizal, Muhammad, dkk, 2014. *Pengaruh Komposisi Arang dan Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Kayu Karet*. Palembang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, h. 42.
- [4] Giancoli, Douglas C, 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [5] <http://efrihani.blogspot.co.id/2013/11/kalorimeter.html> (16 September 2015)
- [6] <http://warintek.bantulkab.go.id/web.php?mod=basisdata&kat=3&sub=8&file=84\31> (31 Desember 2014)
- [7] Hendra, D. 2008. Briket Arang dan Arang Aktif dari Kulit Kayu Mangium. *Prosiding Seminar Teknologi Pemanfaatan Limbah Industri Pulp dan Kertas Untuk Mengurangi Beban Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor: 58–64.
- [8] Jamilatun, Siti. 2011. *Kualitas Sifat-sifat Penyalaan dari Pembakaran Briket Tempurung Kelapa, Briket Serbuk Gergaji Kayu Jati, Briket Sekam Padi dan Briket Batubara*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Kimia Universitas Ahmad Dahlan.
- [9] Libiya, 2010. *Penambahan Cmc (Carboxyl Methyl Cellulose) Dan Lama Penyimpanan Terhadap Mutu Sari Buah Asam Jawa (Tamarindus Indica)*: Universitas Serambi Mekkah. Bia.Libiya@yahoo.com.
- [10] Maryono. 2013. *Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji*. Makassar: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Makassar.
- [11] Said, Muh. 2007. *Fisika Dasar Bagian Pertama*. Makassar: Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- [12] Sarjono. 2013. *Studi Eksperimental Perbandingan Nilai Kalor Briket Campuran Bioarang Sekam Padi dan Tempurung Kelapa*. Jurusan Teknik Mesin STTR Cepu.
- [13] Setiawan, Agung, dkk. 2012. *Pengaruh Komposisi Pembuatan Biobriket dari Campuran Kulit Kacang Dan Serbuk Gergaji Terhadap Nilai Pembakaran*. Palembang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- [14] Sirin, Fairus, dkk. 2011. *Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Alternatif Energi: Biogas dan Precursor Briket*. Bandung: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional.

Penentuan Kualitas Batubara Berdasarkan Log Gamma Ray, Log Densitas dan Analisis Parameter Kimia

(Studi Kasus : Pit 2A Blok Selatan Lamin Project, PT. Mega Alam Sejahtera, Berau Kalimantan Timur)

Yulia Afriani, Makhrani* dan Syamsuddin

Program studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

*Email : rani_anshar@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui kualitas batubara pada tambang batubara pit 2A Blok Selatan Lamin Project PT. Mega Alam Sejahtera Berau Kalimantan Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah well logging yaitu log gamma ray dan log densitas untuk mengetahui profil bawah permukaan dengan titik pengeboran sebanyak 13. Dari hasil analisis dan interpretasi data diperoleh nilai densitas rata-rata 1.63 gram/cc, volume shale rata-rata 0.2%, Ash conten rata-rata 6.46%, kalori rata-rata 5103.53 Kcal/kg, dan total moisture rata-rata 25%. Dengan metode trendline scatterplot bivarian yang digunakan untuk mendapatkan hubungan korelasi dari dua variable yaitu variabel X dan variabel Y, didapatkan korelasi kuat-sangat kuat. Dari analisi hubungan densitas dengan Ash content memiliki nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.520$ atau 52% (korelasi kuat), hubungan densitas dengan total moisture memiliki nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.828$ atau 82.2 % (korelasi sangat kuat), hubungan densitas dengan kalori memiliki nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.582$ atau 58.2% (korelasi kuat). Sedangkan hubungan volume shale dengan ash content memiliki nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.502$ atau 50.2% (korelasi kuat), hubungan volume shale dengan kalori memiliki nilai koefisien korelasi 0.593 ata 59.3% (korelasi kuat). Dilihat dari hubungan korelasi tersebut kualitas batubara pada daerah penelitian memiliki kualitas yang baik.

Kata kunci : *well logging, log gamma ray, log densitas, Volume Shale, Ash Content, Kalori, Total Moisture.*

I. PENDAHULUAN

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil batuan sedimen yang terbentuk dari endapan organik yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara terbentuk dari tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan suhu selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batubara (sukandarmuadi, 1995). Proses Pembentukan batubara itu sendiri dimulai sejak zaman batubara pertama (*Carboniferous Period* / periode pembentukan karbon atau batubara), yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu (sulistiawati, 1992). Salah satu metode yang digunakan dalam ekplorasi batubara adalah *well logging* yang bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan secara cepat dan detail.

Well Logging

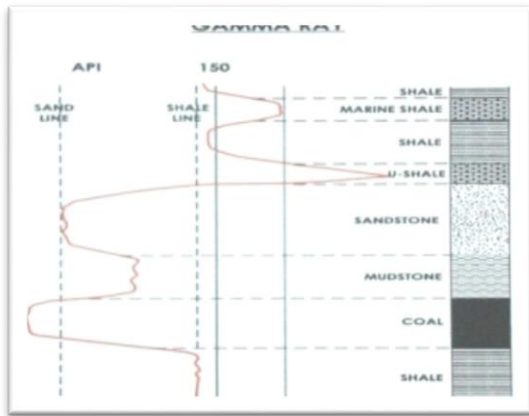
Well logging merupakan metode pengukuran besaran-besaran atau parameter fisika dan kimia batuan terhadap kedalaman lubang bor. Logging geofisika bertujuan untuk memperoleh data kedalaman, ketebalan, dan kualitas lapisan batubara yang dikombinasikan dengan data

pengeboran. Log geofisika yang utama digunakan dalam eksplorasi batubara adalah *gamma ray log*, *density log*, dan *caliper log*. Kombinasi ini biasa disebut dengan *formation density sonde* (FDS).

1. Gamma Ray Log (GR Log)

Prinsip pengukuran *gamma ray log* adalah pere kaman radioaktivitas alami bumi. Radioaktivitas gamma ray berasal dari unsur-unsur radioaktif yang ada dalam batuan yaitu Uranium – U, Thorium – Th, dan Potasium – K, yang secara *continue* memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa – pulsa energi radiasi tinggi. Sinar Gamma ini mampu menembus batuan dan dideteksi oleh sensor sinar gamma yang umumnya berupa detektor sintilasi. Setiap GR yang terdeteksi akan menimbulkan pulsa listrik pada detektor. Parameter yang direkam adalah jumlah dari pulsa yang tercatat per satuan waktu (sering disebut cacah GR) (Dwina, 2012).

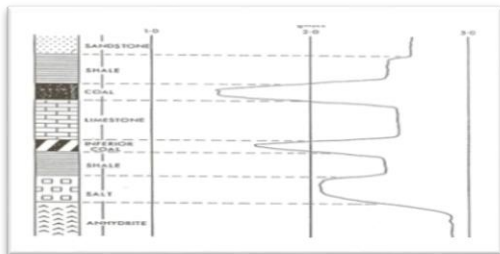
Penggambaran garis batu pasir berada dibawah garis batu pasir biasanya menunjukkan batubara atau batu gamping. Untuk *defleksi* diantara garis *shale* dan batu pasir menunjukkan gradasi antara batu pasir dan *shale*, seperti batu lanau, batu gamping *argilaceous* dan kadang batubara kotor (Gambar 1).



Gambar 1. Respon litologi yang umumnya dijumpai pada lapisan pembawa batubara dengan metode log gamma ray (BPB manual, 1981).

2. Log Densitas (*Density Log*)

Log density merupakan suatu tipe *log porositas* yang mengukur *densitas electron* suatu formasi. Prinsip kerja *log density* yaitu suatu sumber radioaktif dari alat pengukur di pancarkan sinar gamma dengan intensitas energi tertentu menembus formasi/batuan. Batuan terbentuk dari butiran mineral, mineral tersusun dari atom-atom yang terdiri dari *proton* dan *elektron*. Partikel sinar *gamma* bertumbukan dengan *elektron-elektron* dalam batuan. Akibat tumbukan ini sinar *gamma* akan mengalami pengurangan energi (*lose energy*). Energi yang kembali sesudah mengalami benturan akan diterima oleh detektor yang berjarak tertentu dengan sumbernya. Kandungan komponen kuarsa, seperti kuarsa yang berbutir halus dapat memberikan efek yang sangat besar dalam pembacaan *density log*. Hal tersebut dapat menyebabkan porositas semu batubara akan menurun sedangkan densitas batubara akan meningkat (Desri & Sutrisno, 2012).



Gambar 2. Respon litologi yang umumnya dijumpai pada lapisan pembawa batubara dengan metode *log density* (BPB manual, 1981).

3. Penentuan Volume Shale

Kandungan serpih (*shale*) pada suatu lapisan batuan khususnya lapisan batubara dapat diketahui dengan menggunakan *gamma ray log*, sebab kurva *gamma ray* tidak dipengaruhi oleh jenis kandungan maupun kekompakan batuan. Sehingga besar kecilnya intensitas radioaktif yang diterima oleh detektor mencerminkan besar kecilnya kandungan *shale/clay* yang ada dalam suatu lapisan batuan. Dengan asumsi bahwa selama lapisan batuan tidak mengandung mineral lain yang bersifat radioaktif selain *shale/clay*.

Gamma ray log memiliki beberapa respon empiris non linier yang sebaik respon linier. Respon non linier didasarkan pada area geografi dan umur formasi batuan. Semua hubungan non linier lebih diharapkan menghasilkan sebuah nilai volume shale yang lebih rendah daripada hasil dari persamaan linier. Karena daerah penelitian berada pada batuan zaman tersier maka Harga V_{sh} pada lapisan batubara dapat dihitung dengan persamaan (2)

Respon linier ($V_{Shale} = I_{GR}$) :

$$V_{sh} = I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (1)$$

Respon Non Linier :

Tertiary Clastic (Larionov, 1969)

$$V_{sh} = 0,083 \cdot (2^{3,7IGR} - 1) \quad (2)$$

Older Rock (Larionov, 1969):

$$V_{sh} = 0,33 \cdot (2^{2,IGR} - 1) \quad (3)$$

Keterangan :

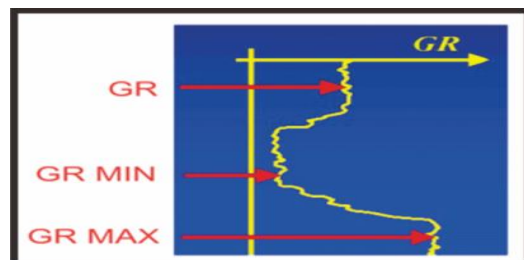
V_{sh} : Volume *shale/clay* (%)

I_{GR} : Indeks *shale gamma ray* (%)

GR : respon *log gamma ray* pada lapisan yang ingin dihitung (API)

GR_{min} : respon log pada zona yang bebas shale (%)

GR_{max} : respon log di zona shale (%)



Gambar 3. Pemodelan untuk menghitung I_{GR} (Firdaus, 2008).

II. BAHAN DAN METODA

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Data yang diolah berupa data well logging berupa log gamma ray dan log densitas dan data hasil uji sample kimia berupa ash conten, total moisture dan nilai kalori selanjutnya dikorelasikan menggunakan *Trideline Scapperplot Bivarian* yang ada pada software Microsoft excel 2007, maka akan muncul grafik dari hubungan antara data well logging dan data hasil uji sampel batubara. Grafik yang dihasilkan dengan korelasi yg tinggi selanjutnya digunakan untuk melihat kualitas batubara yang baik.

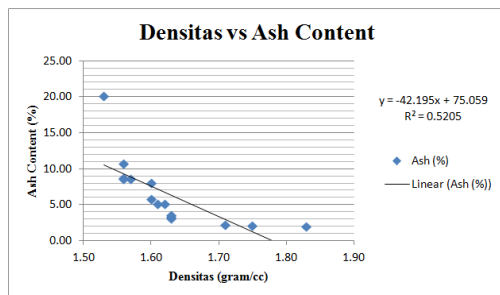
III. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan pengolahan data *well logging* geofisika dan uji kimia, maka dapat diketahui:

1. Nilai rata-rata dari densitas 1.63 gram/cc, nilai kalori 5103.53Kcal/kg, *ash content* 6.46 %, *total moisture* 43.31 % dan *volume shale* 0.2 %
2. Nilai kisaran dari densitas 1.53–1.87 gram/cc, nilai kalori 4281-5472 Kcal/kg, *ash content* 1.98-20.1 %, *total moisture* 40.42-46.14 % dan *volume shale* 0.0-0.4 %.

• Hubungan Densitas terhadap Ash Conten

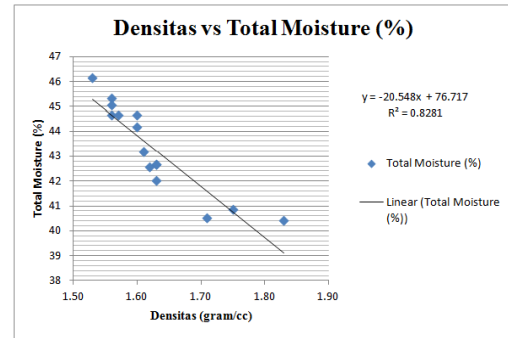
Dari hasil korelasi *trendline observasi scatterplots bivariant* hubungan densitas terhadap *Ash content*, di dapatkan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.520$ dengan nilai rata-rata densitas 1.63 gram/cc dan rata-rata *ash content* 6.45 %.



Gambar 4. Grafik Hubungan Densitas terhadap Ash Content

• Hubungan Densitas terhadap Total Moisture

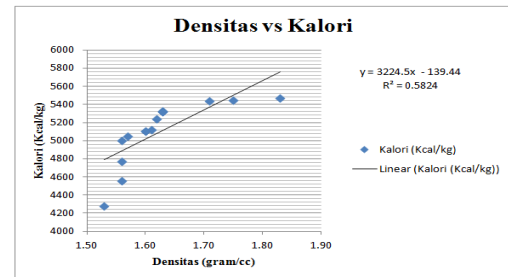
Berdasarkan hasil korelasi *trendline observasi scatterplots bivariant* hubungan densitas terhadap *total moisture* didapatkan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.828$ dengan nilai rata-rata densitas 1.63 gram/cc dan nilai rata-rata *total moisture* 43.31%.



Gambar 5. Grafik Hubungan Densitas terhadap Total Moisture

• Hubungan Densitas terhadap Kalori

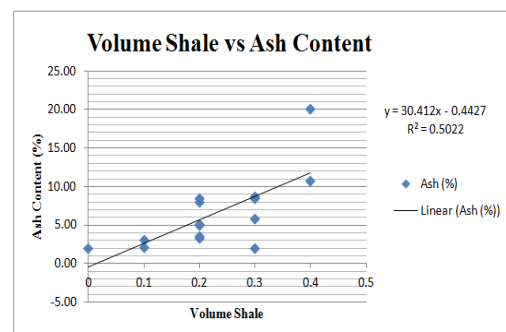
Berdasarkan hasil *trendline observasi scatterplots bivariant* di dapatkan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.582$ dengan nilai rata-rata densitas 1.63 gram/cc dan nilai rata-rata kalori 5103.53 kcal/kg.



Gambar 6. Grafik Hubungan Densitas terhadap Kalori

• Hubungan Volume Shale terhadap Ash Content

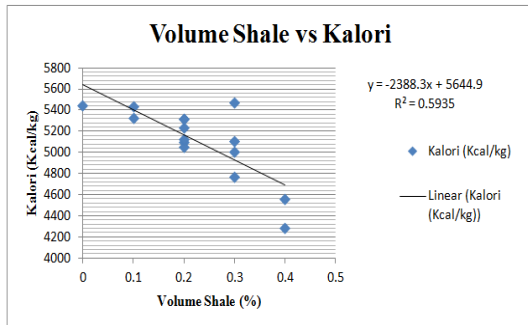
Hasil *trendline observasi scatterplots bivariant* di dapatkan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.520$ dengan nilai rata-rata volume shale 0.2 % dan nilai ash conten 6.45%



Gambar 7. Grafik Hubungan Volume Shale terhadap Ash Content

- Hubungan volume shale terhadap kalori

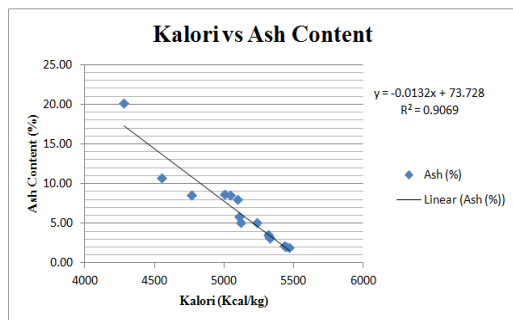
Dari hasil *trendline observasi scatterplots bivariant* di dapatkan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.593$ dengan nilai rata-rata volume shale 0.2 % dan nilai kalori 5103.53 kcal/kg. Hubungan *volume shale* terhadap kalori.



Gambar 8. Grafik Hubungan *Volume shale* terhadap Kalori

- Hubungan Kalori terhadap Ash Content

Hasil *trendline observasi scatterplots bivariant* di dapatkan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.906$ dengan nilai rata-rata kalori 5103.53 kcal/kg dan nilai *ash conten* 6.45 %. Hubungan kalori terhadap *ash content*.



Gambar 9. Grafik Hubungan Kalori terhadap *Ash Content*

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis yang didapatkan yaitu jika nilai densitas tinggi maka nilai *Ash content* semakin rendah, nilai *total moisture* semakin rendah,

dan kalori akan semakin tinggi ini menyatakan bahwa kualitas batubara akan baik. Sebaliknya jika nilai densitas rendah maka nilai *Ash content* akan tinggi, nilai *total moisture* semakin tinggi dan kalori akan rendah. Ini menyatakan bahwa kualitas batubara kurang baik.

2. Hasil analisis yang didapatkan yaitu jika *volume shale* tinggi maka nilai *Ash conten* akan tinggi dan nilai kalori akan rendah ini menyatakan bahwa kualitas batubara yg kurang baik sebaliknya jika *volume shale* rendah maka nilai *Ash conten* akan rendah dan nilai kalori akan tinggi ini menyatakan kualitas batubara yang baik.

REFERENSI

- [1] BPB manual, 1981, *British Petroleum Book*, British company, United Kingdom.
- [2] Desri Akbari, Sutrisno. 2012. Interpretasi Data *Geophysical Well Logging* Dan Analisis Hubungan *Density Log* Dengan Kualitas Batubara. Jakarta: Fakultas Mipa Fisika UIN JAKARTA.
- [3] Dwinna Taruna. 2012. Hubungan Antara *Long Spacing Density Log* Dan *Total Moisture* Serta Kalori Pada Lapisan Batubara Daerah Siduung Dan Sekitarnya, Kecamatan Kelay, Kabupaten Berau, Propinsi Kalimantan Timur. Yogyakarta: UPN VETERAN.
- [4] Firdaus, M., 2008, *Interpretasi Petrofisika*, PT. ELNUSA GEOSAINS. Jakarta.
- [5] Larionov , W.W., *Nuclear Methods in Borehole*, Ed. Nedra, Moskow 1996 (in Rusia).
- [6] Sukandarrumidi, 1995, *Batubara dan Gambut*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [7] Sulistiawati, 1992. Proses Pembentukan Batubara, Analisa Penelitian dan Pengembangan Geologi ITB
- [8] Warren, J., 2002. *Well Logging*, google.com.

Pemodelan Penyebaran Bising Pada PLTA Tangka Manipi

Hasliah Elastuti*, Alimuhammad Hamzah dan Paharuddin

Program Studi Geofisika, Jurusan fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin, Makassar

*Email : hasliahelastuti@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebaran bising pada PLTA Tangka Manipi dengan mempertimbangkan pengaruh dari penggunaan lahan, penyerapan atmosfer dan topografi. Analisis penyebaran kebisingan ini menggunakan model *SPreAD-GIS* yang memperhitungkan pengaruh dari penggunaan lahan, penyerapan atmosfer dan topografi. Berdasarkan hasil keluaran dari model (sebaran kebisingan) penggunaan lahan dan ketinggian yang bervariasi, dihasilkan sebaran kebisingan yang juga bervariasi pula, membentuk penyebaran merta (kontur melingkar sempurna) dan sebaran tidak merata. Tingkat kebisingan maksimum yang dihasilkan adalah 50,3627 dB (A) pada tipe 1, 50,1887 dB (A) pada tipe 2, 46,4867 dB (A) pada tipe 3 dan 45,65 dB (A) pada tipe 4. Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh ketinggian dan penggunaan lahan terhadap arah dan kecepatan angin yang kemudian mempengaruhi sebaran kebisingan.

Kata kunci: Atmosfer, bising, penggunaan lahan, *SPreAD-GIS*, topografi.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sekarang ini industri mulai memandang bising sebagai kajian yang perlu diperhatikan, hal tersebut didukung dengan adanya Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 48 Tahun 1996 yang memberikan batasan kebisingan sesuai dengan tempat dan peruntukannya yang disebut dengan baku tingkat kebisingan, dimana baku tingkat kebisingan merupakan batas maksimal tingkat kebisingan yang diperbolehkan dan dapat dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan, sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan.

Penelitian penyebaran bising sebelumnya masih berlandaskan pada formula *Inverse Square Law* yang tidak memperhitungkan pengaruh dari topografi, penggunaan lahan dan kondisi atmosfer. Hal tersebut melatar belakangi penelitian ini untuk melakukan pemodelan pada bidang yang tidak datar dengan memperhitungkan pengaruh dari topografi, suhu udara, penggunaan lahan, kecepatan angin dan arah angin di daerah Manipi, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Adapun peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian pada daerah ini adalah Bustan (2014) yang menganalisis kebisingan peralatan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Tangka Manipi Kabupaten Sinjai.

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah melakukan pemodelan kebisingan secara spasial pada daerah berkontur yang mempertimbangkan pengaruh dari penggunaan lahan, penyerapan atmosfer dan topografi pada PLTA Tangka Manipi, Desa Tassililu, Kecamatan Sinjai Barat, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis penyebaran bising pada PLTA Tangka Manipi dengan mempertimbangkan pengaruh dari penggunaan lahan, penyerapan atmosfer dan topografi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Dasar Kebisingan

Menurut Nugroho (2009), bising didefinisikan sebagai energi bunyi yang memberikan pengaruh yang tidak diinginkan secara fisik atau psikologis pada manusia atau secara umum diartikan sebagai bunyi yang tidak diinginkan oleh penerimanya. Menurut Doelle (1993), kebisingan adalah semua bunyi yang mengalihkan perhatian, mengganggu atau berbahaya bagi kegiatan sehari-hari. Sedangkan menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: Kep.Men-48/MEN.LH/11/1996, kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Berdasarkan beberapa pengertian yang telah ada,

dapat disimpulkan bahwa kebisingan adalah bentuk suara yang tidak diinginkan atau bentuk suara yang tidak sesuai dengan tempat dan waktunya. Suara tersebut tidak diinginkan karena dapat mengalihkan perhatian dan menimbulkan kerugian terhadap manusia dan lingkungan.

Baku Tingkat Kebisingan

Baku tingkat kebisingan adalah batas maksimal tingkat kebisingan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan.

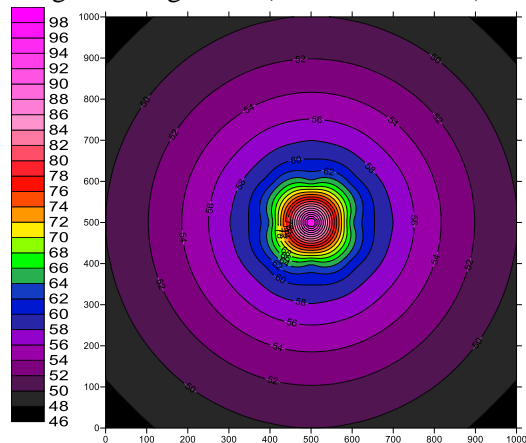
Terdapat beberapa keputusan menteri yang mengatur tentang dampak kebisingan yakni: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 tentang kebisingan dan Keputusan Menteri Kesehatan No. 718 Tahun 1987 tentang kebisingan, serta Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. 51 Tahun 1999 tentang kebisingan.

Inverse Square Law

Gelombang-gelombang yang menyebar secara melingkar terjadi pada gelombang bebas (*free progressive waves*) seperti gelombang-gelombang bunyi yang merambat tanpa mengalami halangan dari sumber ke penerimanya (bidang datar), pada keadaan ini berlaku hukum *Inverse Square Law* dalam skala desibel (dB) dituliskan:

$$L_P \cong L_W - 20 \log r - 11 \quad (1)$$

r menyatakan jarak antara sumber dan penerima bunyi, menurut hukum tersebut bila jarak antara sumber bunyi dan pendengar (*receiver*) meningkat dua kali lipat, maka tingkat tekanan suara akan berkurang 6 dB, berikut (Gambar 1) merupakan salah satu contoh penyebaran bising pada gelombang bebas (Alimuddin, 2013).



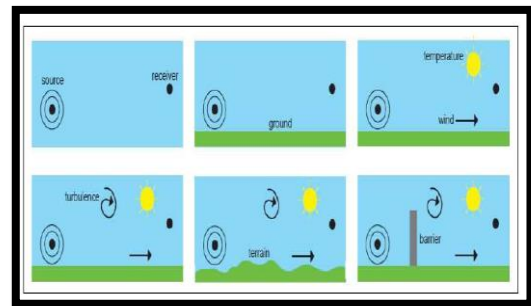
Gambar 1. Perambatan bising pada bidang datar

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sebaran Kebisingan

Tingkat kebisingan pada daerah dataran tinggi berbeda dengan tingkat kebisingan pada daerah dataran rendah, daerah yang memiliki tipe tutupan lahan (penggunaan lahan) yang kosong juga menghasilkan tingkat kebisingan yang berbeda bila dibandingkan dengan daerah yang memiliki tipe tutupan lahan (penggunaan lahan) yang bervariasi. Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh topografi dan penggunaan lahan terhadap kebisingan yang dapat mempengaruhi arah dan kecepatan angin pada daerah tersebut.

Pencemaran udara berhubungan dengan keadaan atmosfer, sedangkan keadaan atmosfer bergantung pada perubahan sistem cuaca, sirkulasi angin regional dan turbulensi, serta efek mikrometeorologi. Parameter-parameter penting yang diperlukan dalam menetapkan potensi penyebaran kebisingan adalah ketinggian, penggunaan lahan, arah dan kecepatan angin.

Menurut Aktrista Ayu (2014) atmosfer berfungsi sebagai media penyebaran polutan udara. Suhu dan kelembapan atau kelembaban pada atmosfer, terikat pada dasar-dasar daur air dan daur energi yang mencakup proses hantaran, konversi, penyimpanan energi, dan massa dengan energi tata surya sebagai sumber energi utamanya. Gambar di bawah ini (Gambar 2) merupakan ilustrasi yang menunjukkan berbagai faktor yang mempengaruhi penjaran kebisingan.



Gambar 2. Ilustrasi berbagai faktor yang mempengaruhi penjaran kebisingan (NPL, 2010).

Topografi dan Penggunaan Lahan

Gelombang bunyi pada permukaan dapat menyebar secara langsung dari sumber ke penerima atau secara propagasi yang dihasilkan dari refleksi pada permukaan yang berbeda. Jalur *propagasi* dapat mengakibatkan terjadinya interferensi antara gelombang langsung dan

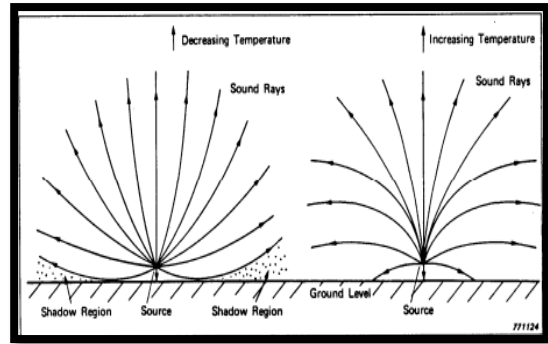
gelombang refleksi. Terjadinya gelombang langsung dan gelombang refleksi pada penerima bergantung pada tiga faktor berikut:

- Perbedaan antara panjang gelombang langsung dan panjang gelombang refleksi (yaitu fungsi dari jarak antara *source* dan *receiver* serta ketinggian *source* dan *receiver* di atas permukaan)
- Panjang gelombang suara yang telah dipertimbangkan (berbanding terbalik dengan frekuensi suara dan berbanding lurus dengan kecepatan suara di atmosfer)
- Pengaruh dari refleksi pada permukaan tanah yang ditunjukkan oleh amplitudo dan fase gelombang suara relatif pada peristiwa gelombang suara.

Perbedaan topografi dan penggunaan lahan mengakibatkan sebahagian energi gelombang diserap oleh tanah dan sebahagian energi gelombang yang tersisa akan dipantulkan, hal tersebut dikarenakan adanya interaksi antara gelombang langsung dan gelombang refleksi. Amplitudo tekanan suara yang dipantulkan relatif berkurang terhadap gelombang tekanan langsung dan terjadi penundaan waktu. Hubungan antara selisih jarak yang ditempuh dan panjang gelombang suara yang bersangkutan sangat penting dalam menentukan bagaimana gelombang langsung dan gelombang refleksi bergabung (NPL, 2010).

Suhu Udara

Menurut Olson (1976), kondisi meteorologi sebagai superadiabatik atau selang positif terjadi ketika *insolation* surya yang signifikan menyebabkan suhu permukaan menjadi tinggi (meningkat) dan terjadi transfer panas yang signifikan dari tanah ke udara yang berdekatan. Dalam situasi ini, gelombang suara akan membentuk zona bayangan melingkar yang membungkuk ke atas dan ke segala arah dari sumbernya. Situasi sebaliknya sering terjadi pada malam hari yang disebabkan oleh pendinginan udara yang berlangsung cepat di permukaan karena panas yang diserap oleh tanah. Kejadian tersebut merupakan inversi atau selang negatif yang membentuk gelombang suara membungkuk ke bawah. Proses terjadinya penurunan dan peningkatan suhu dapat dilihat pada (Gambar 3).



Gambar 3. Refraksi suara dengan gradien suhu a) di sebelah kiri (penurunan suhu dengan ketinggian. b) di sebelah kanan (suhu meningkat dengan ketinggian) (Olson, 1976).

Arah dan Kecepatan Angin

Angin merupakan faktor utama dalam persebaran polutan karena dapat mengakibatkan suatu zat berpindah tempat. Arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat, sedangkan kecepatan angin dapat digunakan untuk menentukan jangkauan daerah penerima (Aktrista Ayu, 2014).

Di tempat terbuka, gradien kecepatan angin vertikal yang cukup besar umumnya disebabkan oleh adanya gesekan antara udara yang bergerak dan tanah. Profil kecepatan angin sangat bergantung pada waktu, kondisi cuaca dan sifat permukaan. Merambatnya gelombang suara ke arah angin akan membungkuk ke bawah, sedangkan merambatnya gelombang suara melawan angin akan menyebabkan gelombang suara mengarah ke atas (Olson, 1976).

Tekanan dan Kelembaban Udara

Tekanan atmosfer (p_a) dan tekanan penguapan jenuh (p_{sat}) digunakan untuk menentukan konsentrasi molar (h), frekuensi relaksasi (f_{rO} dan f_{rN}) dan koefisien attenuasi untuk penyerapan atmosfer (α). Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan tekanan atmosfer (Jennifer, 2010):

$$p_a = 101,325$$

$$(-2,5577 \times 10^{-5} \times e_m)^{5,25588} \quad (2)$$

p_a merupakan tekanan atmosfer dalam kilopaskal (kPa), sedangkan 101.325 merupakan nilai dari tekanan atmosfer (standar internasional) di permukaan laut dalam kilopaskal (kPa) dan e_m menyatakan elevasi dalam satuan meter (m).

Tekanan penguapan jenuh (p_{sat}) dari penguapan air sepanjang permukaan Bumi yang berbentuk cairan adalah semata mata fungsi dari temperatur (T). Persamaan (3) dan (4) merupakan perhitungan yang telah disusun oleh organisasi meteorologi dunia pada tabel meteorologi internasional untuk menghitung tekanan penguapan jenuh (p_{sat}) (ISO 9613-1, 1993):

$$\frac{p_{sat}}{p_r} = 10^C \quad (3)$$

Dengan eksponen C diperoleh dari (ISO 9613-1, 1993):

$$C = -6,8346 (T_{01}/T)^{1,261} + 4,6151 \quad (4)$$

T_{01} merupakan suhu udara yang direkomendasikan oleh organisasi meteorologi dunia (273,16) dalam kelvin (K) dan T merupakan suhu udara di lingkungan (temperatur) = $^{\circ}\text{C} + 273,15$ K (kelvin). Selanjutnya untuk mendapatkan nilai konsentrasi molar (h) dalam persen (%) diberikan nilai temperatur (T), Tekanan atmosfer (p_a) dalam kilopascal (kPa) dan kelembaban relatif spesifik (h_r) dari udara yang menguap dengan persamaan (ISO 9613-1, 1993):

$$h = h_r \left(\frac{p_{sat}}{p_r} \right) / \left(\frac{p_a}{p_r} \right) \quad (5)$$

Pelemahan frekuensi karena penyerapan atmosfer adalah fungsi dari frekuensi relaksasi oksigen dan frekuensi relaksasi nitrogen (f_{rO} dan f_{rN}) dalam hertz (Hz) yang diperoleh dari (ISO 9613-1, 1993):

$$f_{rO} = \frac{p_a}{p_r} \left(24 + 4,04 \times 10^4 h \frac{0,02+h}{0,391+h} \right) \quad (6)$$

$$f_{rN} = \frac{p_a}{p_r} \left[\frac{T}{T_0} \right]^{-1/2} x \left(9 + 280h \exp \left\{ -4,170 \left[\left[\frac{T}{T_0} \right]^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right) \quad (7)$$

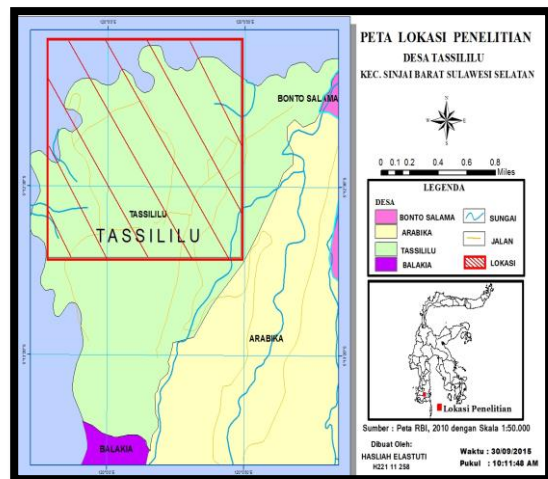
Dalam persamaan (6), (7) dan (8) $p_r = 101.325$ kPa, $T_0 = 293,15$ K dan $\exp = 2,7182818284$. Selanjutnya, untuk menentukan koefisien attenuasi (dB/m) pada penyerapan atmosfer diperoleh dari (ISO 9613-1, 1993):

$$\alpha = 8,686f^2 \left(\left[1,84 \times 10^{-11} \left(\frac{p_a}{p_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1/2} \right] + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \times \left\{ 0,01275 \left[\exp \left(\frac{-2239,1}{T} \right) \right] \left[f_{rO} + \left(\frac{f^2}{f_{rO}} \right)^{-1} \right] + 0,1068 \left[\exp \left(\frac{-3352,0}{T} \right) \right] \left[f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}} \right)^{-1} \right] \right\} \right) \quad (8)$$

III. BAHAN DAN METODA

Daerah Penelitian

Secara geografis Kabupaten Sinjai terletak antara $5^{\circ}2'56''\text{S}$ - $5^{\circ}21'16''\text{S}$ Lintang Selatan (LS) dan antara $119^{\circ}56'30''\text{E}$ - $120^{\circ}25'33''\text{E}$ Bujur Timur (BT), yang berada di Pantai Timur bagian Selatan Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah yang menjadi lokasi penelitian meliputi wilayah PLTA Tangka Manipi, Desa Tassililu, Kecamatan Sinjai Barat, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Berikut merupakan peta lokasi penelitian (Gambar 4).



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian (RBI, 2010).

Bahan

Kebutuhan Data

1. Data hasil pengukuran di lapangan
2. Data meteorologi
3. Data citra spot 6
4. Data dem

Kebutuhan Peralatan

1. Sebuah laptop
2. Beberapa perangkat lunak (*software*) pendukung seperti *Pyhton*, *Zeus Lite/notepad++*, *Global Mapper 14*, *Arcgis 10.1* (Esri, 2012) dan *SPreAD-GIS* (Jennifer, 2010) yang digunakan untuk mengolah data sekunder yang telah diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan.

Metode

Menghimpun Data Lapangan

1. Menghimpun Data Kebisingan

Data kebisingan dihimpun dari data pengukuran langsung di lapangan oleh (Bustan, 2014) selama empat hari di wilayah PLTA Tangka Manipi, Desa Tassililu, Kecamatan Sinjai Barat,

Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan pada Hari Senin, 09 Juni 2014 sampai Kamis, 12 Juni 2014.

2. Menghimpun Data Meteorologi

Data arah angin ($^{\circ}$) dan kecepatan angin (mil/jam) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *ECMWF (European Center for Medium-Weather Forecasts)* yang diunduh di laman <http://ecmwf.int/> pada tanggal 24 Agustus 2015 pukul 11.13 WITA dan merupakan data angin harian setiap enam jam selama satu bulan (Juni 2014). Sedangkan nilai kelembaban relatif (%) dan temperatur ($^{\circ}$ F) diperoleh dari NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) yang diunduh di laman www.noaa.gov pada tanggal 29 Agustus 2015 pukul 09.32 WITA.

3. Menghimpun Data Penggunaan Lahan

Data citra spot 6 merupakan data yang digunakan untuk mengklasifikasikan penggunaan lahan pada daerah penelitian. Penggunaan lahan yang digunakan harus disesuaikan dengan tipe *SPreAD-GIS*, adapun penggunaan lahan sesuai dengan tipe *SPreAD-GIS* dinyatakan pada (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi penggunaan lahan berdasarkan tipe *SPreAD-GIS* (Jennifer, 2010).

Tipe Tutupan Lahan	Tipe <i>SPreAD-GIS</i>
Tanah tandus	BAR
Hutan pinus	CON
Padang rumput	HEB
Kayu / hutan gugur	HWD
Semak	SHB
Pemukiman	URB
Air	WAT

4. Menghimpun Data Topografi

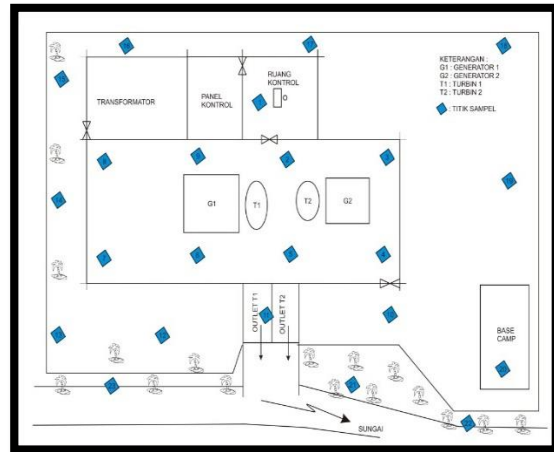
Data topografi (ketinggian) diperoleh dari pengolahan data *srtm* Kabupaten Sinjai menjadi data *dem* yang kemudian menghasilkan data ketinggian.

Pemodelan Penyebaran Bising

Pemodelan penyebaran bising dilakukan dengan model *SPreAD-GIS*, adapun langkah-langkah pemodelan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi titik kondisi sumber bunyi

Menentukan posisi yang dianggap sebagai sumber bunyi yang mewakili satu titik penggunaan lahan (x_1y_1) dan menentukan posisi yang dianggap sebagai sumber bunyi yang mewakili penggunaan lahan untuk tiga titik (x_1y_1 , x_2y_2 , dan x_3y_3) dengan mengacu pada titik pengukuran langsung di lapangan yang ditunjukkan pada (Gambar 5).



Gambar 5. Ilustrasi titik pengukuran (Bustan, 2014).

2. Membuat model extent

Model *extent* adalah *dataset* yang mewakili luas kerenggangan yang diinginkan untuk model analisis perambatan bunyi. Model *extent* bisa berbagai ukuran dan bentuk, langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan model *extent* adalah membuat empat bentangan garis hingga membentuk persegi pada daerah yang dianggap sebagai batasan wilayah yang ingin dijadikan model analisis penyebaran bising.

3. Membuat data ketinggian

Data *extent* dari ketinggian *dataset* harus sama atau lebih besar dari model *axtent*, selain itu besar *cell* dari ketinggian juga harus sama dengan besarnya *cell srtm* yang telah dikonversi kedalam UTM.

4. Mengelompokkan tipe tutupan lahan (penggunaan lahan)

Menyiapkan tipe tutupan lahan untuk daerah penelitian, kemudian mengkonversi file menjadi file *pola scan dataset (nlcd)* dimana besar *cell nlcd* harus sama dengan besarnya *cell srtm* yang telah dikonversi kedalam UTM. Selain itu, *extent* tipe tutupan lahan *dataset* harus sama atau lebih besar dari model *extent*. Setelah menyesuaikan

besar *cell* dan *extent* perlu dilakukan klasifikasi ulang setiap tipe tutupan lahan yang disesuaikan dengan kategori tipe tutupan lahan pada (Tabel 1).

5. Mengimput data meteorologi

Mengimput data meteorologi yang telah dikumpulkan berupa arah angin, kecepatan angin, kelembaban relatif, suhu udara, dan kondisi musim yang disesuaikan dengan waktu pengambilan data kebisingan (09-12 juni 2014).

III.4. Analisis Data

Langkah-langkah yang harus dilakukan sebelum menganalisis data kebisingan adalah terlebih dahulu mengaktifkan *SPreAD-GIS*.

1. Membuat data dari kondisi suara lingkungan

Langkah awal untuk membuat data dari kondisi suara di lingkungan adalah menghitung perambatan bising pada daerah penelitian dengan memasukkan tingkat kebisingan pada lingkungan tanah tandus, hutan pinus, padang rumput, kayu / hutan gugur, semak, pemukiman dan air yang disesuaikan dengan frekuensi yang digunakan (400 Hz sampai 2 kHz), untuk menyesuaikan data kebisingan sesuai dengan frekuensi dan penggunaan lahan yang digunakan.

2. Membuat sebaran kebisingan

Sebaran kebisingan diperoleh dengan cara memasukkan parameter: kondisi suara di lingkungan, *model extent*, frekuensi (Hz), intensitas kebisingan dari sumber (dB), data ketinggian dalam bentuk *dem*, data penggunaan lahan dalam bentuk *nlcd* dan data meteorologi berupa arah angin ($^{\circ}$) dan kecepatan angin (mil/jam), kelembaban relatif (%), frekuensi ($^{\circ}$ F) serta kondisi musim. Apabila input data berhasil, maka keluaran yang dihasilkan berupa sebaran bising yang mengacu pada persamaan (6), (7), dan (8).

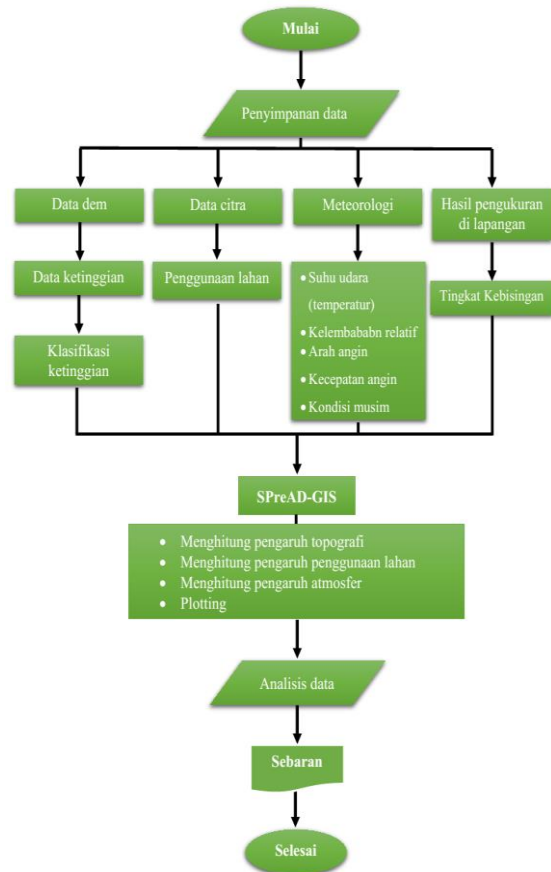
3. Menganalisis data kebisingan

Terdapat beberapa tipe sebaran kebisingan yang akan dianalisis, bergantung pada penggunaan lahan dan ketinggian daerah penelitian. Adapun beberapa tipe sebaran bisng yang akan dianalisis adalah:

1. Analisis kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian seragam.

2. Analisis kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan beragam dan ketinggian seragam.
3. Analisis kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian beragam.
4. Analisis kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan beragam dan ketinggian beragam.

Flowchart Penelitian



IV. HASIL DAN DISKUSI

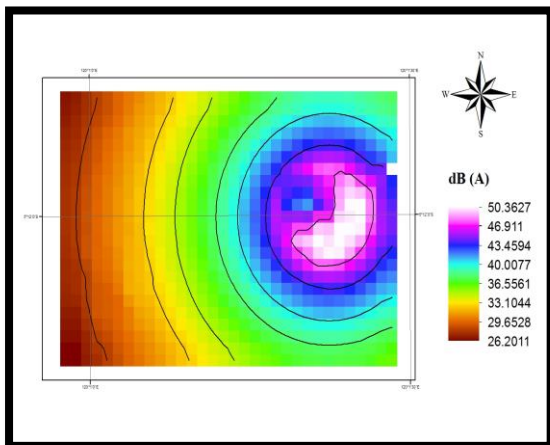
Hasil

Analisis tingkat kebisingan ini dilakukan di sekitar wilayah PLTA Tangka Manipi yang terdiri dari 23 titik pengukuran. Pengukuran tingkat kebisingan dilakukan pada Hari Senin, 09 Juni 2014 pukul 06.00 WITA sampai Kamis, 12 Juni 2014 pukul 06.00 WITA. Pengukuran dilakukan 7 kali dalam 24 jam, pengukuran pada siang hari dibagi sebanyak 4 kali pengukuran, yaitu mulai pukul 06.00 WITA sampai dengan pukul 22.00 WITA, sedangkan pada malam hari dibagi sebanyak 3 kali pengukuran, yaitu mulai pukul 22.00 WITA sampai dengan pukul 06.00

WITA. Berdasarkan data kebisingan tersebut dapat dilakukan perhitungan kebisingan selama 24 jam (L_{eq}) pada tiap-tiap titik pengukuran. Setelah nilai tingkat kebisingan selama 24 jam (L_{eq}) diperoleh, maka untuk mengetahui sebaran kebisingan dilakukan pengolahan data menggunakan model *SPreAD-GIS*. Adapun parameter-parameter yang diinput adalah nilai tingkat kebisingan, arah angin, kecepatan angin, suhu udara, kelembaban relatif, penggunaan lahan dan ketinggian. Keluaran yang dihasilkan dari model *SPreAD-GIS* ini berupa sebaran kebisingan, (Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9) akan memperlihatkan sebaran kebisingan pada daerah penelitian.

Sebaran Kebisingan Tipe 1

Sebaran ini merupakan sebaran kebisingan pada frekuensi 800 Hz dengan tipe penggunaan lahan seragam (tanah tandus) dan ketinggian seragam (450 m diatas permukaan laut), intensitas kebisingan dari sumber yang digunakan adalah 80 (dB), besar *cell* yang digunakan untuk penggunaan lahan dan ketinggian adalah 30.98765908 m yang disesuaikan dengan besarnya *cell srtm*. Terdapat tiga titik pengukuran yang digunakan dengan spasi jarak antara titik pengukuran sebesar 10 ft, suhu udara 86 °F, kelembaban relatif 55%, arah angin 278°, kecepatan angin 2 mil/jam dan kondisi musim yang digunakan adalah musim panas disiang hari yang cerah. Sebaran kebisingan untuk tipe ini dapat dilihat pada (Gambar 6).

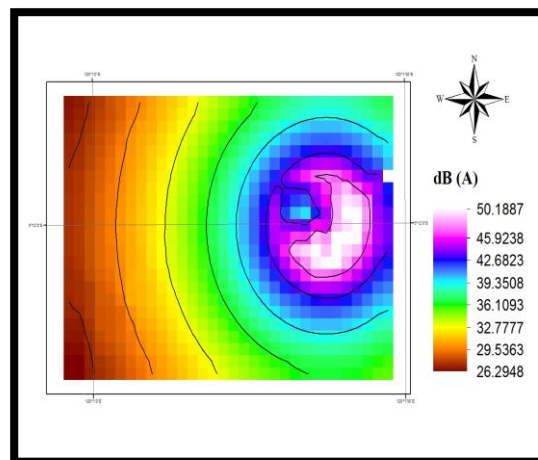


Gambar 6. Kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian seragam (tipe 1).

Sebaran Kebisingan Tipe 2

Sebaran ini merupakan sebaran kebisingan pada frekuensi 800 Hz dengan tipe penggunaan lahan

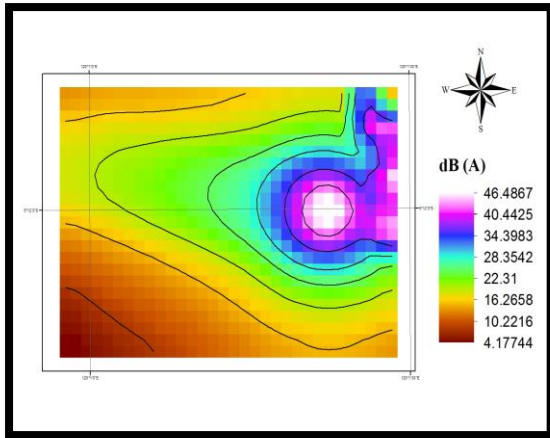
beragam (tanah tandus, hutan pinus, padang rumput, kayu / hutan gugur, semak, pemukiman, air) dan ketinggian seragam (450 m diatas permukaan laut), intensitas kebisingan dari sumber yang digunakan adalah 80 (dB), besar *cell* yang digunakan untuk penggunaan lahan dan ketinggian adalah 30.98765908 m yang disesuaikan dengan besarnya *cell srtm*. Terdapat tiga titik pengukuran yang digunakan dengan spasi jarak antara titik pengukuran sebesar 10 ft, suhu udara 86 °F, kelembaban relatif 55%, arah angin 278°, kecepatan angin 2 mil/jam dan kondisi musim yang digunakan adalah musim panas disiang hari yang cerah. Sebaran kebisingan untuk tipe ini dapat dilihat pada (Gambar 7).



Gambar 7. Kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan beragam dan ketinggian seragam (tipe 2).

Sebaran Kebisingan Tipe 3

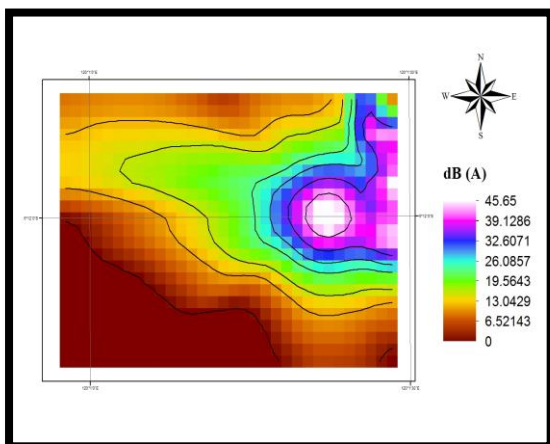
Sebaran ini merupakan sebaran kebisingan pada frekuensi 800 Hz dengan tipe penggunaan lahan seragam (tanah tandus) dan ketinggian beragam (ketinggian minimum = 300 m dan ketinggian maksimum = 600 m) diatas permukaan laut, intensitas kebisingan dari sumber yang digunakan adalah 80 (dB), besar *cell* yang digunakan untuk penggunaan lahan dan ketinggian adalah 30.98765908 m yang disesuaikan dengan besarnya *cell srtm*. Terdapat tiga titik pengukuran yang digunakan dengan spasi jarak antara titik pengukuran sebesar 10 ft, suhu udara 86 °F, kelembaban relatif 55%, arah angin 278°, kecepatan angin 2 mil/jam dan kondisi musim yang digunakan adalah musim panas disiang hari yang cerah. Sebaran kebisingan untuk tipe ini dapat dilihat pada (Gambar 8).



Gambar 8. Kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian beragam (tipe 3).

Sebaran Kebisingan Tipe 4

Sebaran ini merupakan sebaran kebisingan pada frekuensi 800 Hz dengan tipe penggunaan lahan beragam (tanah tandus, hutan pinus, padang rumput, kayu / hutan gugur, semak, pemukiman, air) dan ketinggian beragam (ketinggian minimum = 300 m dan ketinggian maksimum = 600 m) diatas permukaan laut, intensitas kebisingan dari sumber yang digunakan adalah 80 (dB), besar *cell* yang digunakan untuk penggunaan lahan dan ketinggian adalah 30.98765908 m yang disesuaikan dengan besarnya *cell srtm*. Terdapat tiga titik pengukuran yang digunakan dengan spasi jarak antara titik pengukuran sebesar 10 ft, suhu udara 86 °F, kelembaban relatif 55%, arah angin 278°, kecepatan angin 2 mil/jam dan kondisi musim yang digunakan adalah musim panas disiang hari yang cerah. Sebaran kebisingan untuk tipe ini dapat dilihat pada (Gambar 9).



Gambar 9. Kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan beragam dan ketinggian beragam (tipe 4).

Diskusi

Sebaran Kebisingan Tipe 1

Tipe pertama (sebaran kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian seragam) menunjukkan sebaran kebisingan yang cenderung membentuk sebaran yang melingkar, hal tersebut dikarenakan tidak adanya pengaruh penggunaan lahan dan pengaruh ketinggian pada daerah penelitian yang disebabkan oleh penggunaan lahan yang digunakan seragam dengan ketinggian yang seragam pula. Tingkat kebisingan pada zona putih menunjukkan penyebaran bising maksimum (tinggi), sedangkan zona coklat menunjukkan penyebaran bising minimum (rendah) dengan rentang intensitas kebisingan antara 26,2011 dB sampai dengan 50,3627 dB. Tingkat kebisingan pada tipe ini merupakan tingkat kebisingan tertinggi bila dibandingkan dengan ketiga tipe lainnya

Sebaran Kebisingan Tipe 2

Tipe kedua (sebaran kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan beragam dan ketinggian seragam) menunjukkan sebaran bising di sekitar titik pengukuran yang hampir membentuk sebaran kebisingan yang melingkar, hal tersebut dikarenakan tidak adanya pengaruh dari ketinggian pada daerah penelitian, akan tetapi pengaruh dari penggunaan lahan tetap ada, pengaruh dari penggunaan lahan disebabkan oleh penggunaan lahan yang digunakan merupakan penggunaan lahan yang beragam, namun sempitnya wilayah pengukuran mengakibatkan hasil dari penyebaran bising yang ditunjukkan tidak begitu jelas. Tingkat kebisingan pada zona putih menunjukkan penyebaran bising maksimum, sedangkan zona coklat menunjukkan penyebaran bising minimum dengan rentang intensitas kebisingan antara 26,2948 dB sampai dengan 50,1887 dB.

Sebaran Kebisingan Tipe 3

Tipe ketiga (sebaran kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian beragam) menunjukkan bahwa penggunaan lahan memiliki pengaruh yang besar dalam perambatan bising hal tersebut ditunjukkan pada (Gambar 8) karena memiliki penggunaan lahan seragam mengakibatkan penyebaran bising hanya mengikuti arah angin tanpa adanya hambatan berupa tanaman ataupun pemukiman pada daerah tersebut. Tingkat kebisingan pada zona putih menunjukkan penyebaran bising

maksimum, sedangkan zona coklat menunjukkan penyebaran bising minimum. Tipe ini mengalami penurunan tingkat kebisingan derastis dikarenakan penggunaan lahan yang digunakan merupakan penggunaan lahan seragam dengan ketinggian beragam, adapun rentang intensitas kebisingan yang dihasilkan antara 4,17744 dB sampai dengan 46,4867 dB.

Sebaran Kebisingan Tipe 4

Tipe keempat ini (sebaran kebisingan pada daerah yang memiliki penggunaan lahan seragam dan ketinggian beragam) merupakan tipe yang menggunakan penggunaan lahan dan ketinggian sebenarnya di lapangan (daerah penelitian). Tipe ini menunjukkan penyebaran bising yang tidak searah, perambatan bising yang tidak searah tersebut dikarenakan adanya pengaruh dari penggunaan lahan yang digunakan serta ketinggian pada daerah penelitian. Semakin beragam penggunaan lahan dan ketinggian yang digunakan, maka semakin beragam pula sebaran bising yang dihasilkan, tingkat penyebaran bising maksimum berada pada zona putih, sedangkan zona coklat menunjukkan tingkat penyebaran bising minimum dengan rentang intensitas kebisingan mencapai 0 dB sampai dengan 45,65 dB.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil keluaran dari *SPreAD-GIS* (sebaran kebising) dapat disimpulkan bahwa teori yang menjelaskan adanya pengaruh topografi, penggunaan lahan, serta faktor meteorologi berupa kondisi atmosfer terhadap penyebaran kebisingan adalah teori yang terbukti benar. Penggunaan lahan dan ketinggian yang bervariasi, menghasilkan sebaran kebisingan yang juga bervariasi, hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh ketinggian dan penggunaan lahan terhadap arah dan kecepatan angin yang kemudian mempengaruhi sebaran kebisingan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam terwujudnya paper ini.

REFERENSI

[1] Acoustics group of National physical laboratory. 2010. *Guide to Predictive*

Modelling for Environmental Noise Assessment. UK: NPL .

- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2010. *Standar Nasional Indonesia tentang Kelas Penutupan Lahan dalam Penafsiran Citra Optis Resolusi Sedang*. Jakarta: Dewan Standarisasi Indonesia.
- [3] Boggs, Jennifer L. 2010. *SPreAD-GIS: an ArcGIS toolbox for modeling the propagation of engine noise in a wildland setting. Versio 2.0*. San Francisco: The Wilderness Society.
- [4] Bustan. 2014. *Analisis Kebisingan Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tangka Kabupaten Sinjai*. Skripsi. Makassar: Universitas Islam Makassar
- [5] Embleton, T. F. W., J. E. Piercy, and Olson. 1976. *Outdoor Sound Propagation Over Ground of Finite Impedance*. Journal of the Acoustical Society of America .
- [6] Hamzah, M. Alimuddin. 2013. *Bising dan Getaran*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- [7] Ika Permatasari, Aktrista Ayu. 2014. *Analisis Pemetaan Kualitas Udara Ambien Menggunakan Perangkat Lunak Arcgis 10 dan Model Dispersi Gauss*. Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [8] ISO 9613-1. 1993. *Acoustics-Attenuation of Sound During Propagation Outdoors Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- [9] Leslie L. Doelle. 1993. *Akustik Lingkungan*. Terjemahan Lea Prasetio. Jakarta: Erlangga.
- [10] Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 1987. *Undang-Undang No. 718 Tahun 1987 Tentang Baku Tingkat Kebisingan*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [11] Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 1996. *Undang-Undang No. 48 Tahun 1996 Tentang Baku Tingkat Kebisingan*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [12] Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia. 1999. *Undang-Undang No. 51 Tahun 1999 Tentang Nilai Ambang Batas Kebisingan di Tempat Kerja*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [13] Zuidam, R.A. Van. 1985. *Aerial Photo-Interpretation Terrain Analysis and Geomorphology Mapping*. Smith Publisher The Hague: ITC.

Pemetaan Arah Rembesan Air Lindi di TPA Tamangapa Makassar

Andi Nurul Aeni Daud¹, Muhammad Altin Massinai^{2*} dan Syamsuddin²

¹Mahasiswa Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin

²Staf akademik Program Studi Geofisika, Universitas Hasanuddin

*Email : muhammad_altin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sampah merupakan salah satu masalah bagi kota-kota besar di negara berkembang. Kota Makassar sebagai salah satu kota besar di Indonesia juga memiliki masalah yang sama. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa merupakan salah satu contoh TPA yang menerapkan sistem *controlled landfill*. Prinsip pengolahan metode *controlled landfill* adalah secara periodik sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah kemudian dilakukan perataan dan pemadatan sampah. Proses penampungan sampah dengan metode tersebut akan menghasilkan lindi (*leachate*) yang merembes ke dalam tanah dan mengalir di sela-sela partikel tanah ke arah yang lebih rendah. Lindi diketahui memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan air tanah. Metode geofisika yang dapat mengidentifikasi resistivitas bawah permukaan adalah metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas). Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji distribusi resistivitas air lindi untuk menentukan arah rembesan dan letak akumulasi lindi dengan menggunakan metode resistivitas konfigurasi wenner-schlumberger. Daerah yang diasumsikan tersaturasi air lindi ditandai dengan nilai resistivitas $\leq 5 \Omega m$, hasil menunjukkan pada daerah penelitian lindi merembes ke segala arah dan secara dominan merembes ke arah timur lintasan pengukuran.

Kata kunci: Lindi, resistivitas, TPA Tamangapa, wenner-schlumberger

I. PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu masalah bagi kota-kota besar di negara berkembang. Kota Makassar sebagai salah satu kota besar di Indonesia juga memiliki masalah yang sama. Hal ini disebabkan pertambahan jumlah penduduk Kota Makassar yang pesat menyebabkan semakin besarnya produksi sampah rumah tangga. Sebagian besar sampah yang ada diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) untuk diproses lebih lanjut.

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa merupakan salah satu contoh TPA yang menerapkan sistem *controlled landfill*. Prinsip pengolahan metode *controlled landfill* adalah secara periodik sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah kemudian dilakukan perataan dan pemadatan sampah (Janglo, 2002 dalam Arifin, dkk. 2004).

Proses penampungan sampah dengan metode tersebut akan menghasilkan air lindi (*leachate*) yang merembes ke dalam tanah dan mengalir di sela-sela partikel tanah ke arah yang lebih rendah. Air lindi merupakan hasil pencampuran materi sampah yang tertimbun dalam tanah dengan air tanah, air hujan, serta pembuangan limbah cair yang melalui timbunan sampah. Cairan ini bersifat racun dan dapat mencemari air tanah.

Lokasi TPA Tamangapa sangat dekat dengan pemukiman masyarakat yang menggunakan air tanah sebagai sumber utama air bersih. Hasil wawancara yang dilakukan dengan warga sekitar TPA, didapatkan terjadi perubahan pada rasa dan aroma pada air tanah tersebut setelah TPA Tamangapa terbentuk. Dengan demikian dapat ditarik hipotesis bahwa air tanah pada daerah sekitar TPA Tamangapa telah dipengaruhi oleh rembesan air lindi. Air lindi diketahui memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan air tanah. Dengan demikian nilai resistivitas air lindi lebih rendah dibandingkan dengan air tanah. Metode geofisika yang dapat mengidentifikasi resistivitas bawah permukaan adalah metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas).

II. BAHAN DAN METODA

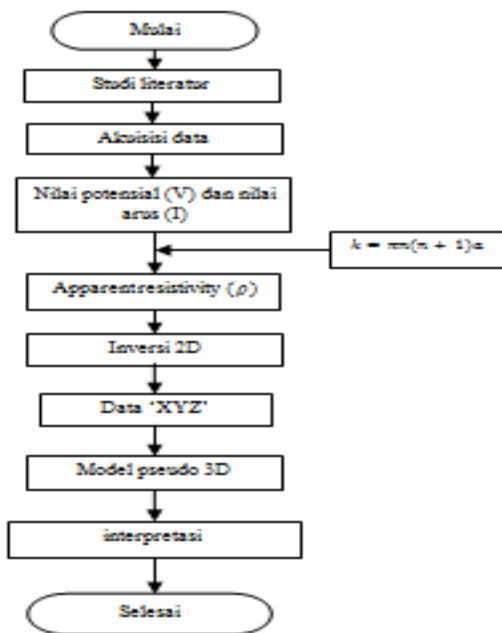
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data resistivitas semu yang didapatkan dari pengukuran di lapangan dengan menggunakan konfigurasi *wenner-schlumberger* dengan formula untuk mengetahui nilai resistivitas senu sebagai berikut:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

$$K = \pi n (n + 1) a \quad (2)$$

$$\rho_s = \pi n (n+1) a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

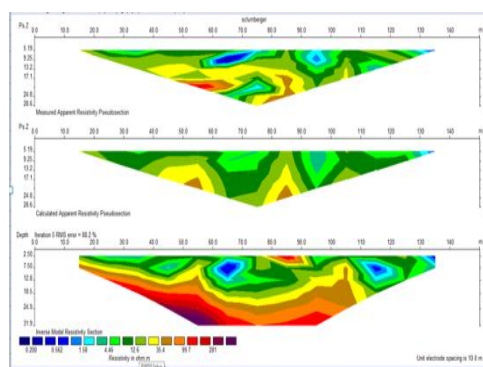
Adapun bagan alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Bagan alir penelitian

III. HASIL DAN DISKUSI

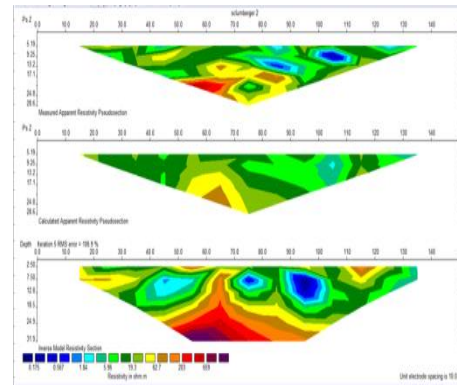
Lintasan 1 membentang dari arah barat ke timur dengan panjang lintasan 150 m dengan jarak antar elektroda sebesar 10 m dengan jumlah datum point sebanyak 49 dengan kedalaman hasil inversi sebesar 31.9 m, nilai resistivitas maksimum pada lintasan 4 sebesar 945.95 Ωm dan nilai resistivitas minimum sebesar 0.154 Ωm .



Gambar 2. Hasil inversi lintasan 1

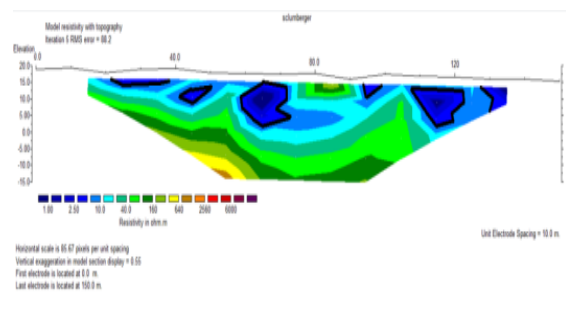
Lintasan 2 berjarak 75 m ke arah selatan dari lintasan 1, nilai resistivitas minimum lintasan ini adalah 0.14970 Ωm dan nilai resistivitas maksimum lintasan ini adalah 4191.70 Ωm dengan panjang lintasan 150 m dengan jarak spasi elektroda sebesar 10 m, dengan jumlah

datum poin sebanyak 49 dengan kedalaman dari hasil inversi adalah 31.9.



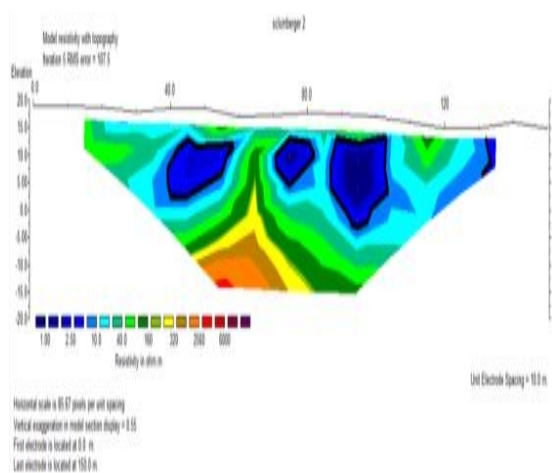
Gambar 3. Hasil inversi lintasan 2

Pada hasil inversi kemudian dilakukan penyamaan skala untuk memudahkan dalam proses interpretasi dengan hasil sebagai berikut. Pada *Lintasan 1* tanah daerah yang diasumsikan sebagai tanah yang tersaturasi air lindi berada pada beberapa titik. Titik pertama berada diantara elektroda 20 dan elektroda 40. Yang berada sampai kedalaman 2.5 meter, selanjutnya titik kedua berada diantara elektroda 40 sampai elektroda 50 dimana daerah yang diasumsikan sebagai tanah yang tersaturasi lindi berada pada kedalaman 2.5 meter sampai 7.5 meter, titik ketiga berlokasi diantara elektroda 60 dan elektroda 80 dengan kedalaman mencapai 12.5 meter. Titik anomali berikutnya berada diantara elektrod 90 sampai elektroda 100 dengan kedalaman mencapai 2.5 meter. Titik keempat berada pada elektroda 110 sampai 120 dengan kedalaman daerah yang diasumsikan sebagai daerah yang tersaturasi air lindi dengan kedalaman mencapai 12.5 meter. Titik anomali yang terakhir berada pada elektroda 130 dengan kedalaman mencapai 7.5 meter.



Gambar 4. Penampang resistivitas lokasi 1 lintasan 4

Pada *Lintasan 2* terdapat 4 (empat) titik yang diasumsikan sebagai daerah yang tersaturasi dengan lindi. Titik pertama berada diantara elektroda 40 sampai elektroda 60 dengan kedalaman 2.5 meter sampai 7.5 meter, titik kedua berada diantara elektroda 70 sampai elektroda 90 dengan kedalaman 1.5 meter sampai 5.5 meter, titik ketiga berada pada diantara elektroda 90 sampai 110 dengan kedalaman mencapai 13 meter, titik keempat berada pada diantara elektroda 130 dan 140 dengan kedalaman 2.5 meter sampai 7.5 meter. zona resistivitas tinggi ditandai dengan warna merah diasumsikan sebagai tufa.



Gambar 5. Penampang resistivitas lokasi 1 lintasan 5

Hasil inversi yang telah disamakan menunjukkan arah rembesan masing-masing lintasan dominan ke arah timur. Hal ini disebabkan topografi pada daerah penelitian cenderung lebih rendah ke arah timur.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan rembesan air lindi dominan ke arah timur lintasan pengukuran.

REFERENSI

- [1] Adeoti, L. 2011. *Geo-electrical Investigation of Leachate Impact on Groundwater: A Case Study of Ile-Epo Dumpsite. Lagos. Nigeria.* Journal Application Science and Environment Vol. 15. Nigeria
- [2] Arifin, M.F. Imran, A.M. Ramli, M. Hatta, M.P. Tinjauan Geohidrologi Lokasi TPA Sampah Kota Makassar, Propinsi Sulawesi Selatan (Studi Kasus TPA Sampah Tamangapa Antang). Prosiding Seminar Nasional Geofisika 2014. Makassar
- [3] Fred, L.G., 1990. *Sanitary Landfill Leachate Recycle "Bio-Cycle"*. Journal Watercycling. Bandung.
- [4] Englehardt, James D. *Options for Managing Municipal Landfill Leachate: Year 1 Development of Iron-Mediated Treatment Processes.* Vols. Report #0432024-06. Florida. University of Florida. 2006
- [5] Hadiwidodo, M. Oktiawan, W. Primadani, A.R. Parasmata, B.N. Gunawan, I. 2012. Pengolahan Air Lindi dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob dan Wetland. Jurnal Presipitasi
- [6] Hendrajaya, L. dan Arif, I. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis.* Monograf metode Eksplorasi. Laboratorium Fisika Bumi. ITB. Bandung
- [7] Linsley., 1982. *Applied Hydrology.* McGraw Hill Publ. Co. Ltd, New Delhi.
- [8] Loke, M.H. 2004. *2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys.* Tutorial. email: drmhloke@yahoo.com.
- [9] Putra, A.P. 2014. *Pemodelan Sebaran Air Asam Tambang Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner Alpha.* Universitas hasanuddin. Makassar
- [10] Putra, I.K. 2012. *Identifikasi Arah Rembesan dan Letak Akumulasi Lindi dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger di TPA Temesi Kabupaten Gianyar.* Universitas Udayana. Denpasar

Perancangan Sistem Penangkap Petir Pada Dangau Petani Di Daerah Persawahan

Bidayatul Armynah¹, Syahir Mahmud^{2*} dan Idwin Indra Bawana Tang²

¹Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar

²Jurursan Elektro, UAJM, Makassar, Indonesia

*Email : syahir@mut.co.id

ABSTRAK

Persawahan yang berfungsi sebagai sarana untuk mencari nafkah bagi para petani, merupakan salah satu objek yang rentang sambaran petir. Untuk menjaga agar persawahan aman dari sambaran petir, maka diperlukan sistem penangkap petir yang handal. Dalam tulisan ini telah dirancang sistem penangkap petir beserta radius zona area pengamanan persawahan. Resistivitas tanah pada area persawahan menggunakan earth testermeter dan mendapatkan nilai tahanan jenis rata-rata $4\Omega\text{m}$. nilai tahanan jenis rata-rata yang telah didapat, dihitung nilai tahanan tanah di area sekitar menggunakan 3 rumus elektroda yang berbeda untuk mencari nilai tahanan tanah terkecil dan jenis elektroda pentanahan yang akan digunakan. hasil penghitungan menunjukkan bahwa, elektroda batang adalah elektroda yang paling baik digunakan untuk pentanahan pada rancangan sistem penangkap petir di daerah persawahan karena memiliki nilai tahanan tanah terkecil dibandingkan dengan 2 jenis elektroda lainnya yaitu $1,604\Omega$.

Kata kunci: penangkap petir, elektroda dan pentanahan

I. PENDAHULUAN

Fenomena Depok dengan petirnya tercatat dalam *Guinness Book Of World Record*. Dalam sehari Kota Depok dan sekitarnya bisa mendapat 322 kali sambaran petir, yang normalnya hanya 80 kali sambaran petir. Penelitian yang dilakukan di Laboratorium Arus Tinggi dan Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Listrik FTI, ITB menemukan bahwa terdapat arus petir negatif berkekuatan 379,2 kA (kilo ampere) dan petir positif 441,1 kA. Menurutnya dengan kekuatan arus sebesar ini, petir mampu meratakan gedung yang terbuat dari beton sekalipun. Dikemukakan bahwa petir di Depok dan sekitarnya merupakan petir terganas di dunia. Ditambah kondisi meteorologis Indonesia yang memenuhi syarat bagi terciptanya petir yaitu udara naik, kelembaban dan partikel bebas. Ketiga syarat ini sudah terpenuhi mengingat Indonesia sebagai negara maritim. Di samping itu, kota Depok sangat di pengaruhi angin regional dan angin lokal, yaitu angin dari lembah dan angin gunung dari Bukit Barisan serta angin darat dan angin laut dari Kepulauan Riau dan Selat Malaka. Pergerakan angin inilah yang menyebabkan awan petir dengan kerapatan dan sambaran petir yang sangat tinggi.

Indonesia secara geografis terletak di garis khatulistiwa dan diantara dua benua dengan jumlah hari guruh rata-rata seratus dua puluh hari pertahun. Indonesia yang merupakan negara khatulistiwa memiliki karakteristik petir yang berbeda dengan karakteristik petir di negara lain. Karakteristik petir di Indonesia yang memiliki

durasi sambaran petir yang tinggi di banding durasi sambaran petir di negara lain dijadikan standar oleh badan standarisasi dunia pada umumnya.

Indonesia secara geografis juga merupakan Negara agraris memiliki areal persawahan yang sangat luas dan 55% diantaranya adalah sawah tanah datar⁹⁾ dibawah ini. Sebagaimana pada umumnya, sawah tanah datar tidak ditumbuhi oleh pohon-pohon hortikultura yang hidup dalam jangka panjang dan tinggi. Kondisi seperti ini merupakan areal terbuka yang potensial menerima sambaran petir.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengukur resistivitas tanah di daerah persawahan.
2. Membuat rancangan instalasi penangkap petir yang cocok dan baik digunakan pada Dangau di daerah persawahan.

Manfaat melakukan perancangan instalasi penangkap petir di daerah persawahan adalah:

1. Hasil dari perancangan dapat disosialisasikan kepada masyarakat khususnya petani. Setelah masyarakat mengetahui rancangan penagkap petir di daerah persawahan, masyarakat dapat membuat penangkap petir di dangau masing-masing.
2. Untuk memperdalam pengetahuan tentang sistem pentanahan penangkap petir di daerah persawahan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Resistansi pentanahan merupakan hal yang tidak boleh diabaikan dalam pemasangan jaringan instalasi listrik. Sistem pentanahan yang buruk akan dihadapkan pada resiko sengatan listrik. Jika arus gangguan tidak mempunyai jalur ke tanah melalui sistem pentanahan yang didesain dan dipelihara dengan baik, arus gangguan akan mencari jalur yang tidak diinginkan termasuk manusia. Sebaliknya, pentanahan yang baik tidak hanya sekedar untuk keselamatan, tetapi juga digunakan untuk mencegah kerusakan peralatan listrik. Sistem pentanahan yang baik akan meningkatkan reliabilitas peralatan dan mengurangi kemungkinan kerusakan akibat petir dan arus gangguan.

Organisasi pemberi rekomendasi untuk keamanan pentanahan yaitu:

1. Occupational Safety Health Administration (OSHA)
2. National Fire Protection Association (NFPA)
3. American National Standards Institute and Instrument Society of America (ANSI / ISA)
4. Telecommunications Industry Association (TIA)
5. International Electrotechnical Commission (IEC)
6. European Committee for Electrotechnical Standardization (ENELEC)
7. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Adapun standar-standar umum proteksi petir yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Standar PUIPP (Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir)
2. Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004)
3. Pedoman Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)

Penangkap petir adalah sebuah batang logam atau konduktor yang dipasang pada perangkat listrik yang terhubung ke tanah melalui kawat, untuk melindungi bangunan pada saat terjadi petir. Salah satu ujung batang kawat ini berada di luar atap bangunan dan yang lainnya terkubur di dalam tanah. Jika petir menyambar, maka secara langsung petir akan menyambar pada kawat batang logam, kemudian petir akan melewati kawat menuju tanah, sehingga potensial listrik dari petir dapat di netralkan.

Penangkap petir adalah salah satu komponen di dalam sistem perlindungan dari petir. Selain itu, penangkal petir ditempatkan sesuai struktur pada bagian tertinggi dari bangunan. Sistem perlindungan dari petir biasanya mencakup hubungan antar konduktor logam pada atap, jalur konduktor logam dari atap ke tanah, koneksi ikatan objek logam dalam struktur dan jaringan landasan. Bagian atap penangkal petir terdiri dari strip logam atau batang, biasanya dari tembaga atau aluminium.⁸⁾

Proses Terjadinya Petir

Proses terjadinya petir akibat perpindahan muatan negatif (elektron) menuju ke muatan positif (proton). Para ilmuwan menduga lompatan bunga api listriknya sendiri terjadi, ada beberapa tahapan yang biasanya dilalui. Pertama adalah pemampatan muatan listrik pada awan bersangkutan. Umumnya, akan menumpuk di bagian paling atas awan adalah listrik muatan negatif, di bagian tengah adalah listrik bermuatan positif, sementara di bagian dasar adalah muatan negatif yang berbaur dengan muatan positif, pada bagian inilah petir biasa berlontaran. Petir dapat terjadi antara awan dengan awan, dalam awan itu sendiri, antara awan dan udara, antara awan dengan tanah (bumi). Ada 2 teori yang mendasari proses terjadinya petir yaitu :

1. Proses Ionisasi

Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik (*Electrical Discharge*) yang terjadi di atmosfer, hal ini disebabkan berkumpulnya ion bebas bermuatan negatif dan positif di awan, ion listrik dihasilkan oleh gesekan antar awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari cair menjadi gas atau sebaliknya, bahkan padat (es) menjadi cair. Ion bebas menempati permukaan awan dan bergerak mengikuti angin yang berhembus, bila awan-awan terkumpul di suatu tempat maka awan bermuatan ion tersebut akan memiliki beda potensial yang cukup untuk menyambar permukaan bumi maka inilah yang disebut petir.

2. Proses Gesekan Antar Awan

Pada awalnya awan bergerak mengikuti arah angin, selama proses Bergeraknya awan ini maka saling bergesekan satu dengan yang lainnya, dari proses ini terlahir elektron-elektron bebas yang memenuhi permukaan awan. Proses ini bisa di simulasikan secara sederhana pada sebuah penggaris plastik yang digosokkan pada rambut

maka penggaris ini akan mampu menarik potongan kertas. Pada suatu saat awan ini akan terkumpul di sebuah kawasan, saat inilah petir dimungkinkan terjadi karena elektron-elektron bebas ini saling menguatkan satu dengan lainnya. Sehingga memiliki cukup beda potensial untuk menyambar permukaan bumi.

Mekanisme Terjadinya Petir

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan atau pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tidak pasti. Tekanan atmosfer akan menurun dengan makin bertambahnya ketinggian suatu tempat dari permukaan horizontal. Pergerakan udara ini akan membawa udara lembab ke atas, kemudian udara lembab ini mengalami kondensasi menjadi uap air lalu berkumpul menjadi titik-titik air yang pada akhirnya membentuk awan.

Angin kencang yang meniup awan akan membuat awan mengalami pergeseran secara horisontal maupun vertikal, ditambah dengan benturan antara titik-titik air dalam awan tersebut dengan partikel-partikel udara yang dapat memungkinkan terjadinya pemisahan muatan listrik didalam awan tersebut. Butiran air yang bermuatan positif biasanya berada di bagian atas dan yang bermuatan negatif di bagian bawah. Dengan adanya awan yang bermuatan maka akan timbul muatan induksi pada permukaan bumi sehingga menimbulkan medan listrik antara bumi dengan awan.

Mengingat dimensinya, bumi dianggap rata terhadap awan sehingga bumi dengan awan dapat dianggap sebagai dua plat sejajar membentuk kapasitor. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara maka akan terjadi pelepasan muatan. Terjadinya pelepasan muatan inilah yang disebut sebagai petir.

Setelah adanya peluahan di udara sekitar awan bermuatan yang medan listriknya cukup tinggi, terbentuk peluahan awal yang biasa disebut pilot leader. Pilot leader ini menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara diikuti dengan titik-titik cahaya.

Setiap sambaran petir bermula dari suatu lidah petir yang bergerak turun dari awan bermuatan dan disebut downward leader. Downward leader ini bergerak menuju bumi dalam bentuk langkah-langkah yang disebut step leader. Pergerakan step leader ini arahnya selalu berubah-ubah sehingga secara keseluruhan jalannya patah-patah. Panjang step leader ini sekitar 50 m (dalam rentang 3 →

200 m) dengan interval waktu antara setiap step kurang lebih 50 us. Dari waktu ke waktu, dalam perambatannya ini step leader mengalami percabangan sehingga terbentuk lidah petir yang bercabang-cabang.

Ketika leader bergerak mendekati bumi, akan ada beda potensial yang makin tinggi antara ujung step leader dengan bumi sehingga terbentuk peluahan mula yang disebut upload steamer pada permukaan bumi atau objek yang akan bergerak ke atas menuju ujung step leader. Apabila upward leader telah masuk dalam zona jarak sambaran atau striking distance, terbentuk petir penghubung yang menghubungkan ujung step leader dengan objek yang disambar. Setelah itu akan timbul sambaran balik yang bercahaya sangat terang bergerak dari bumi atau objek menuju awan dan melepas muatan di awan.

Jalan yang ditempuh oleh return stroke sama dengan jalan turunnya step leader, hanya arahnya yang berbeda. Kemudian terjadi sambaran susulan dari awan menuju bumi atau objek tersebut. Sambaran susulan ini tidak memiliki percabangan dan biasa disebut sebagai lidah panah atau dart leader. Pergerakan dari dart leader ini biasanya 10 kali lebih cepat dari leader yang pertama.

Pada umumnya hampir separuh dari peristiwa kilat petir merupakan sambaran ganda dengan jumlah sambaran sekitar 3 sampai 4 sambaran tiap kilat. 90 persen diantaranya tidak lebih dari 8 sambaran dan interval waktu setiap sambaran kurang lebih 50 ms.

Macam-Macam Petir

Telah disebutkan sebelumnya bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tidak pasti. Dengan kondisi labilitas dalam atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir biasa juga berbeda-beda. Muatan yang terjadi tidak terpisah secara horizontal sehingga menimbulkan pelepasan diantara awan dengan awan atau dalam awan itu sendiri. Atau mungkin saja proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah petir nya juga terbalik.

Secara garis besar, jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu sebagai berikut:

- a. Berdasar polaritas muatan:
 - Muatan positif
 - Muatan negatif

- b. Berdasar arah sambaran:
 - Arah kebawah (bumi atau objek), disebut *downward lightning*
 - Arah keatas (awan), disebut *upward lightning*
- c. Berdasar jenis sambaran:
 - Sambaran dalam awan
 - Sambaran antar awan
 - Sambaran awan ke bumi

Parameter-Parameter Petir

Parameter petir menyatakan karakteristik atau penggambaran petir itu sendiri. Parameter-parameter petir cukup banyak, terutama yang berkaitan dengan usaha-usaha proteksi petir. Selain itu, parameter petir ini juga berguna dalam studi efek kerusakan akibat sambaran petir dan kemungkinan pemanfaatannya. Parameter-parameter tersebut antara lain; bentuk gelombang petir, kerapatan sambaran, arus puncak dan kecuraman gelombang.

Sistem Proteksi Petir

Proteksi petir merupakan suatu usaha untuk melindungi suatu objek dari bahaya yang diakibatkan petir, baik itu secara langsung maupun secara tidak langsung. Berdasarkan pada tujuan atau sifat dari proteksi itu sendiri, proteksi petir terdiri dari dua jenis, yaitu proteksi sambaran petir dan proteksi tegangan lebih petir. Prinsip kerja antara kedua jenis proteksi tersebut diatas tentu saja berbeda. Proteksi sambaran petir lebih bersifat pencegahan, sedangkan proteksi tegangan lebih petir sifatnya tidak lagi mencegah tetapi mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh sambaran petir, dalam hal ini apabila jenis proteksi yang pertama gagal melaksanakan fungsinya.

Berdasarkan cara kerjanya, sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Sistem dengan penangkap petir Prinsip kerja sistem ini adalah:
 - Harus menyediakan titik pada ujung bangunan yang akan menjadi sasaran sambaran petir, dengan harapan petir akan menyambar titik itu terlebih dahulu.
 - Harus menyediakan saluran untuk menyalurkan arus petir ke tanah.
 - Harus menyediakan sistem pembumian untuk mendistribusikan arus petir yang masuk ke tanah dengan merata agar tidak menimbulkan kerusakan atau bahaya pada

bangunan atau pada manusia yang sedang berada disekitarnya.

2. Sistem disipasi

Pada prinsipnya DAS (*Dissipation Array System*) tidak bertujuan untuk mengundang arus petir agar menyambar terminasi udara yang sudah disediakan, melainkan membuyarkan arus petir agar tidak mengalir ke daerah yang dilindungi.

Apabila awan bermuatan bergerak ke suatu daerah, maka akan menginduksi muatan listrik diatas permukaan tanah ataupun bangunan di bawah awan petir tersebut. Muatan yang terinduksi ini selanjutnya dikumpulkan oleh sistem pembumian DAS yang kemudian di angkut ke bentuk ion (*ionizer*) dengan fenomena yang di sebut *point discharge*, yaitu setiap bagian benda yang runcing akan memindahkan muatan listrik hasil induksi ke molekul udara disekitarnya bilamana titik temunya berada pada medan elektrostatis. Ionizer akan menghimpun ribuan titik-titik bermuatan secara individu dan sanggup untuk melepaskan muatan-muatan listrik hasil induksi tadi secara optimal, dimana pada akhirnya dapat mengurangi beda potensial antara awan dan udara disekitar ionizer. Dengan kata lain medan listrik yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga memperkecil kemungkinan udara untuk tembus listrik sehingga terjadinya petir dapat dihindari.

Berdasarkan tempatnya, sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Proteksi Eksternal

Proteksi eksternal adalah instalasi dan alat-alat diluar suatu struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus surja petir ke sistem pembumian. Proteksi eksternal petir berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan lebih petir jika terjadi sambaran langsung ke sistem atau bangunan yang dilindungi.

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan sistem proteksi petir eksternal adalah:

- Macam, fungsi, bagan dari bangunan, ukuran denah bangunan, bentuk dan kemiringan atap.

- Terminasi udara (air terminal), dimana jumlahnya haruslah cukup untuk memberikan daerah proteksi yang diinginkan
- Konduktor penyalur (*down conductor*) haruslah mampu menyalurkan arus petir yang diterima dari terminasi udara menuju bumi.
- Pembumian (*grounding*) dimana resistensi pembumian <10 Ohm.

2. Proteksi Internal

Proteksi petir internal merupakan perlindungan terhadap sistem elektronika didalam bangunan / gedung akibat tegangan lebih yang ditimbulkan oleh induksi elektromagnetik akibat sambaran petir tak langsung. Walaupun bangunan sudah dilindungi terhadap sambaran petir, beberapa kerusakan pada peralatan listrik khususnya peralatan elektronika dapat disebabkan karena masuknya surja imbas petir melalui kabel listrik dan kabel komunikasi atau masuknya arus petir pada waktu terjadi sambaran langsung.

Sistem proteksi petir internal dapat terdiri dari satu jenis ataupun beberapa alat-alat proteksi petir, antara lain:

- Arrester : alat potong tegangan lebih pada peralatan
- Shielding : konstruksi dinding dan lantai secara khusus untuk menghilangkan induksi elektromagnetik
- One point earthing system : pemasangan potensial aqualization busbar yang berfungsi sebagai terminal pembumian
- Penggunaan kabel optic sebagai pengganti kabel tembaga pada instalasi listrik. Kabel optic tidak menyebabkan percikan antar kabel dan tidak terinduksi elektromagnetik
- Penggunaan trafo isolasi untuk mentransformasikan arus besar yang terjadi akibat sambaran petir ke jala-jala menjadi arus yang sangat kecil Oleh karena desain proteksi internal sangat bergantung pada instalasi listrik / elektronika maka arsitektur dalam bangunan serta perencanaan awal penggunaan bangunan harus diperhatikan.

ELEKTRODA PENTANAHAN

Pada dasarnya ada 3 jenis elektroda yang digunakan pada sistem pentanahan yaitu :

- Elektroda Batang
- Elektroda Pelat
- Elektroda Pita

Elektroda-elektroda ini dapat digunakan secara tunggal maupun multiple dan juga secara gabungan dari ketiga jenis dalam suatu sistem.

Berikut penjelasan mengenai 3 jenis elektroda diatas :

• Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang di tanam vertikal di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga, stainless steel atau galvanised steel. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari galvanic couple yang dapat menyebabkan korosi. Gambar di bawah ini adalah gambar elektroda batang.



Gambar 1. Elektroda Batang

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{A} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

R = Tahanan pentanahan uantuk batang tunggal (ohm)

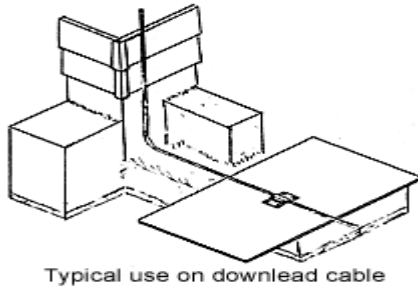
ρ = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

L = Panjang elektroda (meter)

A = Diameter elektroda (meter)

• Elektroda Pelat

Bentuk elektroda pelat biasanya segi empat atau empat persegi panjang yang tebuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah.Cara penanaman biasanya secara vertikal, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertikal.Penanaman secara vertikal lebih praktis dan ekonomis.Gambar dibawah ini adalah elektroda pelat.



Gambar 2. Elektroda Pelat

$$R = \frac{\rho}{4,1 L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right) \quad (2)$$

R = Tahanan pentanahan pelat (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

L = Panjang elektroda pelat (meter)

- Elektroda pita

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BCC yang ditanam didalam tanah secara horizontal sedalam ± 2 feet. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daerah-daerah pegunungan dimana tahanan jenis tanah semakin dalam semakin tinggi.



Gambar 3. Elektroda Pita

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} \right) \quad (3)$$

R = Tahanan pentanahan (ohm)

ρ = Tahanan jenis (ohm meter)

L = Kedalaman (meter)

d = diameter elektroda (meter)

III. Bahan dan Metode

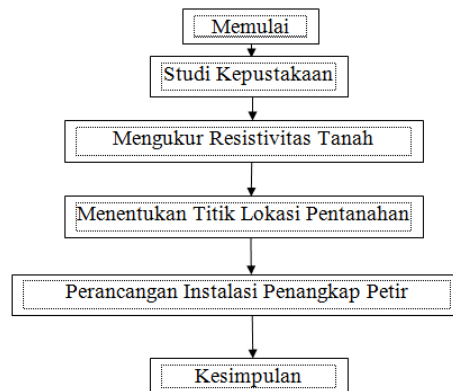
Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di daerah persawahan di Jalan Hertasning Baru, Makassar.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental berupa penelitian langsung terhadap lokasi tanah yang akan digunakan untuk pentanahan pada sistem instalasi penangkap petir yang digunakan di daerah persawahan. Kemudian menganalisis hasil penelitian tanah dari penelitian yang telah dilakukan.

Bagan Alur Penelitian



IV. HASIL DAN DISKUSI

Langkah – Langkah Pengamatan Yang Dilakukan

Menyiapkan alat ukur tahanan jenis (earth tester) beserta kabel-kabel penghubung dan 4 buah Rod, lalu memasang semua alat yang sudah ada.

Mengukur Tahanan Jenis Tanah Dan Menghitung Tahanan Tanah

Mengukur resistivitas tanah dan menghitung tahanan tanah menggunakan 3 jenis elektroda yang berbeda (elektroda batang, elektroda pelat, elektroda pita).

Mengukur Resistivitas Tanah (ρ)

Resistivitas tanah atau tahanan jenis tanah di ukur menggunakan alat earth tester / elohmi meter. Pengukuran dilakukan di tanah di daerah persawahan di Jalan Hertasning Baru, Makassar.

Dari hasil pengukuran dengan menggunakan 3 jarak yang berbeda antar 4 elektroda batang (Rod), maka didapat nilai rata-rata:

- Jarak 3 meter = 6,2 Ω m
- Jarak 5 meter = 4,5 Ω m
- Jarak 7 meter = 0 Ω m

Dari 3 macam hasil pengukuran, diambil pedoman untuk mengukur tahanan tanah dengan menggunakan 3 rumus elektroda yang berbeda. Dan pedoman yang dipakai adalah rata-rata hasil pengukuran dari tahanan jenis jenis tanah yaitu 4 Ω m.

Menentukan Titik Lokasi Pentanahan

Setelah melakukan pengukuran tahanan jenis tanah di area lokasi pentanahan (di daerah persawahan di Jalan Hertasning Baru, Makassar)

dan setelah hasil perhitungan tahanan tanah menggunakan 3 jenis elektroda yang berbeda, selanjutnya ditentukan titik lokasi pentanahannya. Titik lokasi pentanahan harus ditentukan secara strategis dan harus diperhatikan beberapa aspeknya juga, seperti dari struktur tanah, tahanan jenis tanah, kadar air tanah.

Perancangan Instalasi Penangkap Petir

Setelah mengukur tahanan jenis tanah, menghitung tahanan tanah dan menentukan titik lokasi pentanahan, selanjutnya menentukan komponen-komponen instalasi penangkap petir lalu digambar perancangan instalasi penangkap petirnya.

1. Kriteria Rancangan

Berdasarkan penjelasan di atas mengenai elektroda pentanahan, cara pentanahan, maka kriteria rancangan yang akan dibuat menggunakan elektroda batang.

2. Komponen-Komponen Yang Dipakai Dalam Perancangan Instalasi Penangkap Petir Di Daerah Persawahan

Komponen-komponen atau peralatan yang akan dipakai dalam perancangan instalasi penangkap petir gedung ini adalah:

- Air Terminal atau batang penangkap petir:
Air terminal yang digunakan adalah 1 batang air terminal yang terbuat dari bahan besi tembaga dengan ujung runcing. Panjang batang air terminal adalah 6 meter dengan diameter 3 cm..
- Kawat BC atau kawat konduktor: Kawat BC yang digunakan adalah kawat BC yang terbuat dari jalinan kawat tembaga dan memiliki panjang 16 meter dan diameter kawat 1 cm.
- Elektroda batang (Grounding): Elektroda batang yang digunakan adalah 1 elektroda batang yang terbuat dari tembaga, dimana elektroda batang ini mempunyai panjang 1 meter dan berdiameter 1,5 cm dan tertanam didalam tanah 1 meter dari permukaan tanah.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

- Dari nilai tahanan jenis tanah yang di dapat yaitu 4 Ω meter maka dapat ditentukan juga nilai tahanan tanah menggunakan 4 jenis elektroda yang berbeda, yaitu:

- Nilai tahanan menggunakan elektroda batang : 1,604 Ω
- Nilai tahanan menggunakan elektroda pelat : 5.609 Ω
- Nilai tahanan menggunakan elektroda pita : 7,91 Ω

Berdasarkan hasil penghitungan tahanan yang di dapat, perancangan sistem penangkap menggunakan elektroda batang, karena berdasarkan landasan teori, nilai tahanan yang baik untuk pentanahan adalah 1 Ω atau kurang dari 1 Ω atau mendekati 1 Ω .

- Gambar rancangan penangkap petir terdapat pada Lampiran.

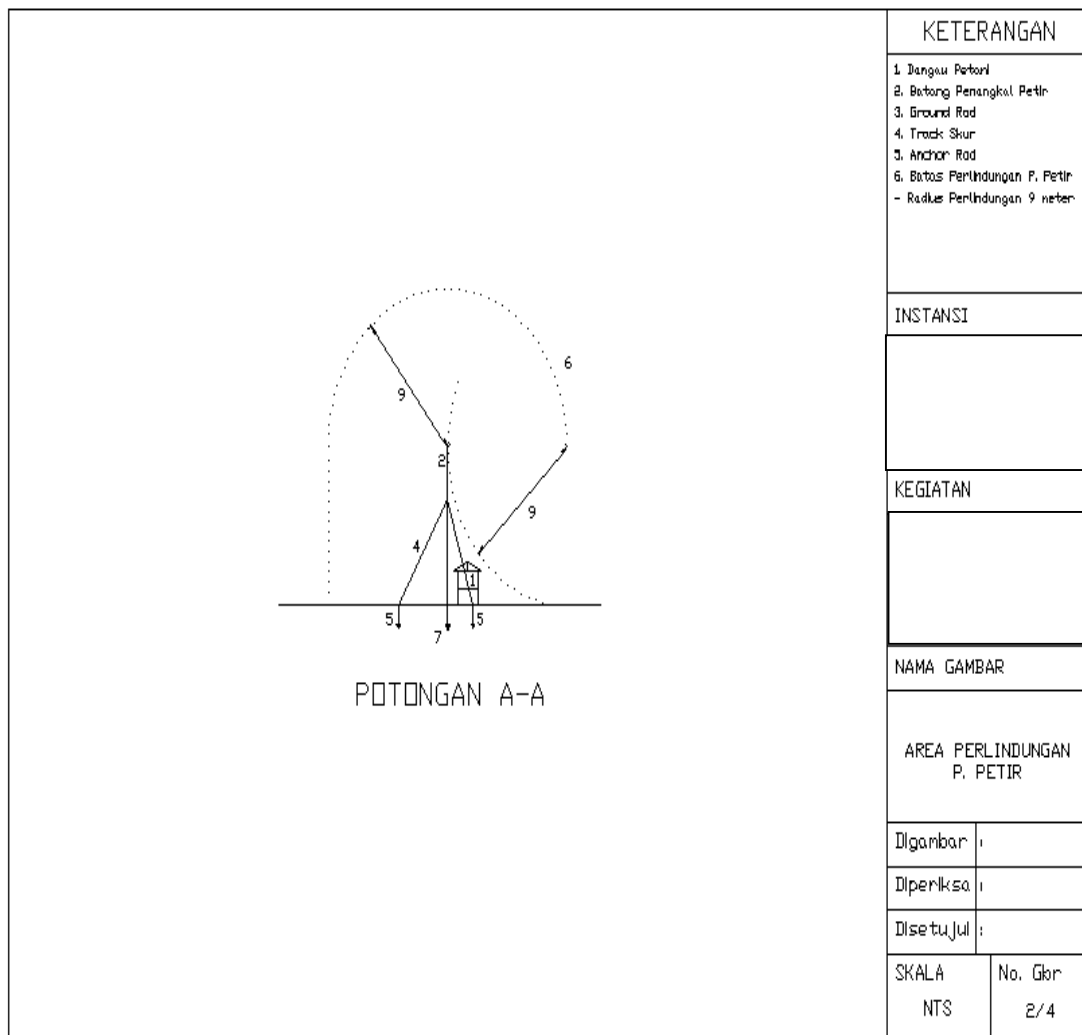
Saran

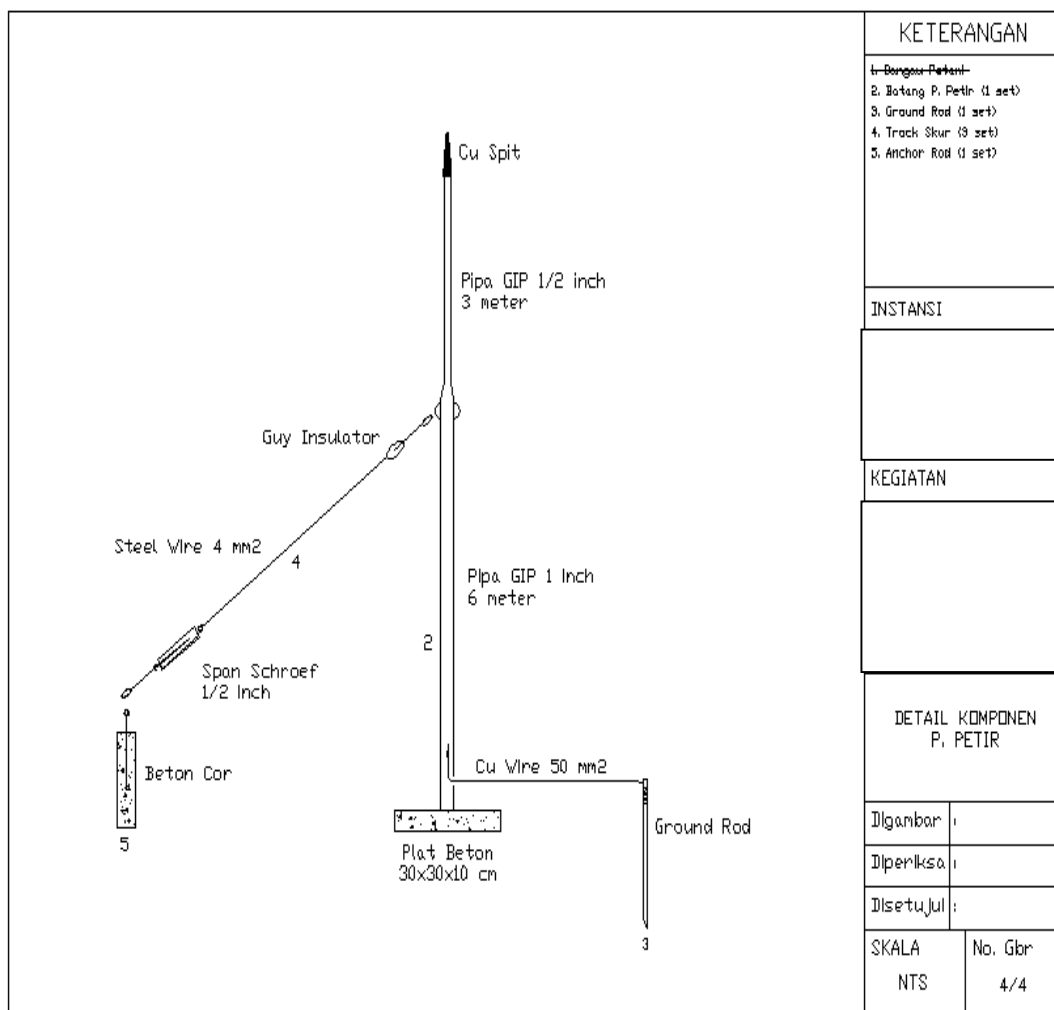
Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat di sosialisasikan kepada para petani karena pembuatan alat ini lebih murah dan lebih mudah.

REFERENSI

- [1] <http://depoklik.com/petir-terbanyak-dan-berarus-listrik-terbesar-di-dunia-ada-di-depok/>
- [2] <https://id.wikipedia.org/wiki/Petir>
- [3] <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-NonDegree-21054-6408030028-chapter1pdf.pdf>
- [4] <https://penangkalpetirflashvectron.wordpress.com/cara-kerja-penangkal-petir/>
- [5] <http://digilib.unimus.ac.id/files/disk1/119/jtptunimus-gdl-muhamatyas-5924-3-babii.pdf>
- [6] <http://pusatstudi.gunadarma.ac.id/apimb/sites/default/files/publikasi/Reff%20Burn-Reynaldo%20Zoro.pdf>

Lampiran : Rancangan Penangkal Petir





Korelasi Periode Delapan Tahun Lontara' Pananrang dengan Periode Gerak Bulan dalam Pengarakterisasian Kondisi Cuaca di Sulawesi Selatan

Nur Hasanah^{1*}, D.A. Suriamihardja¹ dan Bannu Abdulsamad²

¹Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar

²Program Studi Fisika, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar

*Email: n.hasanah@unhas.ac.id

ABSTRAK

Kami telah melakukan perjalanan ke tiga daerah di Sulawesi Selatan (Barru, Sidrap, dan Bone) untuk melakukan diskusi secara langsung tentang Lontara' Pananrang dengan Palontara' (ahli Lontara'). Lontara' Pananrang merupakan naskah yang ditulis pertama kali di atas daun lontar dan kemudian ditulis di atas kertas membahas bagaimana masyarakat Bugis-Makassar mengarakterisasikan kondisi cuaca di daerah masing-masing dalam periode delapan tahun (Bugis-Makassar: sipariyama). Periode ini disesuaikan dengan kalender Hijriyah (penanggalan Arab) yang mereka gunakan saat itu sampai sekarang. Karena kalender Hijriyah didasari oleh pergerakan Bulan, maka kami memperkirakan terdapat pengaruh Bulan dalam pola cuaca di daerah Sulawesi Selatan. Oleh karena itu, kami lakukan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alasan saintifik mengapa Lontara' Pananrang mengambil dasar kalender Hijriyah dalam pengarakterisasian cuaca. Setelah melakukan beberapa penelusuran literatur, kami dapatkan bahwa periode beberapa komponen atmosfer, seperti medan tekanan atmosfer dan temperatur permukaan laut, memiliki korelasi yang baik dengan periode gerak Bulan. Namun periode Bulan yang memiliki korelasi tersebut adalah periode sideris dan Saros Bulan yang masing-masing besarnya 27,3 hari dan 18 tahun. Walaupun periodenya tidak bersesuaian dengan periode Sipariyama, masih dapat kami simpulkan gerak Bulan memiliki pengaruh terhadap fenomena yang terjadi di atmosfer. Butuh penelitian lebih lanjut untuk mengetahui mekanismenya.

Kata Kunci : bulan, kalender hijriyah, lontara' pananrang, pasang surut atmosfer, periode bulan.

I. PENDAHULUAN

Peramalan cuaca telah dilakukan masyarakat kuno sejak zaman sebelum masehi. Masyarakat kuno Indonesia meramalkan cuaca dengan cara mengarakterisasi kondisi cuaca di daerah masing-masing dalam waktu periode tertentu.

Di Jawa, peramalan cuaca dihubungkan dengan penanggalan pertanian yang disebut Pranatamangsa [1]. Dalam penanggalan ini waktu setahun Masehi (365 hari) dibagi menjadi 12 musim yang masing-masing memiliki panjang musim, bintang pedoman, dan kondisi meteorologis yang khas. Petani beserta penyuluh pertanian yang mampu memahami Pranatamangsa ini dapat mengatur strategi produksi pertanian dengan cermat.

Berbeda dengan di Jawa, masyarakat Bugis-Makassar kuno di Sulawesi Selatan mengarakterisasi kondisi cuaca daerahnya dalam periode delapan tahun. Pengetahuan meteorologi ini ditulis dalam catatan kuno yang disebut Lontara' dengan menggunakan huruf Bugis-Makassar yang tidak lagi banyak orang ketahui.

Menurut Lontara' kondisi meteorologi daerah Sulawesi Selatan dibagi menjadi delapan pola yang disesuaikan dengan kalender Hijriyah yang memiliki periode delapan tahun (Bugis-Makassar: periode Sipariyama) [2][3]. Hamid dkk [2] menuliskan penamaan tahun dalam Sipariyama seperti pada Tabel 1 kolom 2. Sedangkan untuk pola cuaca menurut definisi Lontara' pada daerah Barru, Sidrap, dan Bone, Prihatin [4] mencoba untuk mengklasifikasikannya seperti terlihat pada Tabel 1 kolom 3-11 Setelah pengklasifikasian ini, Prihatin [4] dan Jafar [5] juga mencari keselarasan periodisitas parameter iklim modern (Dipole Mode dan ENSO) dengan Sipariyama. Dengan mendefinisikan tiap tahun dalam periode Sipariyama menjadi tahun basah atau kering didapatkan bahwa hanya fenomena ENSO kuat yang memiliki keselarasan lebih baik dengan periode Sipariyama. Namun hasil ini masih belum bisa memberikan penjelasan secara kuantitatif mengapa terjadi keselarasan tersebut.

Dengan hasil yang telah diberikan di atas, kami ingin mengetahui secara lebih baik pengaruh

Bulan terhadap iklim lokal karena periode Sipariyama menggunakan periode kalender Hijriyah yang didasari oleh pergerakan Bulan. Oleh karena itu, kami mencoba untuk mencari penjelasan yang lebih saintifik mengenai hal tersebut. Untuk itu kami lakukan diskusi langsung dengan Palontara' (ahli Lontara') dan studi literatur mengenai pengaruh Bulan terhadap iklim.

II. BAHAN DAN METODA

Ketertarikan kami pada Lontara' bermula dari keberadaan tiga naskah Lontara' (terjemahan) dari tiga daerah di Sulawesi Selatan, yaitu Barru, Sidrap, dan Bone. Ketiganya menjelaskan upaya masyarakat Bugis-Makassar dalam mengarakterisasi cuaca tahunan dan menghubungkannya dengan hasil pertanian dan perdagangan. Karena di Lontara' tidak dijelaskan secara rinci proses dan alasan pengarakterisasian, maka kami melakukan diskusi langsung dengan Palontara' di ketiga daerah tersebut.

Proses diskusi ini mengalami beberapa kendala, terutama dalam hal bahasa. Dari tiga Palontara' hanya satu orang yang mampu berbahasa Indonesia dengan baik. Sedangkan dua orang yang lain lebih banyak menggunakan bahasa daerahnya masing-masing sehingga kami susah dalam memahami penjelasannya. Kendala lain yang kami temui adalah pengetahuan Palontara' yang terbatas. Mereka lebih banyak hanya mampu membaca Lontara' tanpa mengetahui secara rinci pengetahuan-pengetahuan yang terkandung di dalam Lontara' itu sendiri. Kemungkinan hal ini disebabkan para Palontara' hanya berfungsi sebagai penasehat dan bukan orang yang secara langsung menyelesaikan permasalahan yang ada di masyarakat.

Dengan adanya beberapa kendala tersebut, kami hanya mampu mendapatkan sedikit informasi. Oleh karena itu, kami mencoba mencari informasi dari literatur yang ada.

Tabel 1. Kondisi Meteorologis tiga daerah di Sulawesi Selatan menurut Lontara' [3], [4], [5].

No.	Tahun Lontara'	Barru			Sidrap			Bone		
		Masa Hujan	Curah Hujan	Jenis Tahun	Masa Hujan	Curah Hujan	Jenis Tahun	Masa Hujan	Curah Hujan	Jenis Tahun
1	Alepu	Panjang	Tinggi	Basah	Singkat	Tinggi	Kering	Singkat	normal	Kering
2	Ha	Sedang	normal	Basah	Singkat	normal	Kering	Singkat	rendah	Kering
3	Jim	Panjang	normal	Basah	Singkat	rendah	Kering	Singkat	Tinggi	Kering
4	Zet	Sedang	normal	Basah	Panjang	rendah	Basah	Panjang	Tinggi	Basah
5	Dalen Riolo	Sedang	normal	Kering	Panjang	normal	Basah	Panjang	normal	Basah
6	Ba	Singkat	rendah	Kering	Sedang	normal	Basah	Singkat	normal	Basah
7	Wawu	Singkat	rendah	Kering	Panjang	Tinggi	Basah	Panjang	Tinggi	Basah
8	Dalen Rimunri	Singkat	normal	Kering	Singkat	rendah	Kering	Singkat	Tinggi	Kering

III. HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil diskusi kami dengan tiga Palontara' kami dapatkan bahwa pengetahuan Lontara' dalam kaitannya dengan peramalan cuaca sudah jarang digunakan oleh masyarakat Bugis-Makassar modern. Hanya masyarakat yang tinggal di pedalaman yang masih menggunakan Lontara' dan meminta nasehat dari Palontara'. Sedangkan masyarakat yang tinggal di kota cenderung menggunakan teknologi modern (hasil peramalan BMKG). Ada pun informasi yang berhasil kami himpun antara lain

bagaimana menentukan nama tahun dalam kalender Hijriyah untuk tahun masehi tertentu. Menurut Bapak H. A. Baharuddin (Palontara' dari Sidrap) penentuannya dapat menggunakan formula (1) berikut:

$$\text{Nama tahun} = \text{sisanya pembagian dari } ((\text{tahun Hijriyah} - 2) / 8)$$

Jika hasil pembagiannya adalah satu maka tahun tersebut adalah tahun Alepu, jika dua adalah tahun Ha, dan seterusnya hingga tujuh adalah

tahun Wawu. Sedangkan jika sisa pembagiannya nol, maka tahun tersebut adalah tahun Dalen Rimunri. Dengan menggunakan formula di atas maka tahun ini (1436 H) bertepatan dengan tahun Ha karena sisa pembagiannya adalah dua. Berdasarkan Tabel 1, menurut Lontara' tahun ini akan mengalami hujan yang singkat dan tahun depan (1437 H) akan diramalkan masih mengalami hujan yang singkat. Kami cukup bertanya mengapa kalender Lontara' memiliki periode delapan tahun. Khazin [6] mengungkapkan bahwa siklus kalender Jawa Islam juga memiliki periode delapan tahun. Penamaan tahun dan durasi hari ada sedikit perbedaan dengan kalender Lontara', seperti terlihat pada Tabel 2. Berdasarkan Khazin [6], durasi satu tahun dalam kalender Jawa Islam adalah 354,375 hari dan akan menjadi genap setelah delapan tahun (2835 hari). Jika periode satu tahun tersebut kita bagi 12 bulan, maka akan didapatkan periode satu bulan sebesar 29,53125 hari. Nilai periode ini sedikit berbeda dengan periode rata-rata sinodis Bulan menurut data astronomi, yaitu sebesar 29,53059 hari. Walau perbedaannya cukup kecil akan tetapi pada penentuan awal bulan Hijriyah berbasis hisab Urfi yang menggunakan periode 29,53059 hari disebutkan bahwa satu tahun berumur 354,376 hari sehingga siklus hisab Urfi akan genap setelah 30 tahun [7].

Tabel 2. Perbandingan Kalender Lontara' dan Jawa Islam.

No	Kalender Komariah (Lontara Bugis-Makassar)			Kalender Komariah (Jawa Islam)		
	Nama Tahun	Huruf Jumali	Jumlah hari	Nama Tahun	Huruf Jumali	Jumlah hari
1	Alepu	ا	354	Alip	ا	354
2	Ha	هـ	355	Ehe	هـ	355
3	Jim	ج	354	Jim awal	ج	354
4	Ze	ز	354	Ze	ز	354
5	Dalen riolo	د	355	Dal	د	355
6	Ba	ب	354	Be	ب	354
7	Wawu	و	355	Wawu	و	354
8	Dalen rimonri	ر	354	Jim akhir	ج	355
Jumlah			2835	Jumlah	2835	

Perbedaan ini dikarenakan adanya variasi dalam periode gerak Bulan itu sendiri. Menurut astronomi, periode sinodis Bulan bervariasi hingga 0,29167 hari dari nilai rata-ratanya. Dengan demikian periode gerak Bulan yang digunakan oleh kalender Lontara' masih masuk dalam rentang variasi tersebut. Kemungkinan masyarakat kuno Bugis-Makassar pada masanya mengamati periode gerak Bulan sebesar 29,53125 hari. Sedangkan hisab Urfi

menggunakan periode rata-rata sinodis Bulan dalam perhitungannya untuk menentukan awal bulan Hijriyah.

Selain ingin mengetahui alasan penetapan delapan tahun pada kalender Lontara', kami juga mencoba mencari alasan saintifik hubungan periode delapan tahun tersebut dengan pengarakterisasian kondisi cuaca lokal. Dari hasil literatur, kami dapatkan bahwa indeks pasang surut (tidal index) berkorelasi cukup baik dengan medan tekanan atmosfer [8]. Namun korelasi ini hanya bersesuaian dengan periode sideris Bulan yang besarnya 27,3 hari. Di lain literatur, Wilson dan Sidorenkov [9] menyebutkan bahwa pola yang terdapat pada peta anomali mean sea level pressure (MSLP) di daerah bumi belahan selatan berasosiasi dengan pasang surut atmosfer (atmospheric tides) jangka panjang yang dibangkitkan oleh siklus Saros (18 tahun) atau siklus Draconic Bulan (18,6 tahun). Hasil ini masih tidak sesuai dengan periode kalender Lontara'.

Namun dari kedua penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa pasang surut atmosfer yang berperan penting dalam menggerakkan fenomena-fenomena yang terjadi di atmosfer, termasuk El Nino dan La Nina, tidak hanya dipengaruhi oleh radiasi Matahari, tetapi juga gaya gravitasi Bulan. Walau hingga kini masih belum diketahui seberapa besar pengaruh Bulan terhadap pasang surut atmosfer. Dengan demikian pengarakterisasian kondisi cuaca lokal oleh Lontara' tidak hanya terjadi atas dasar kebetulan tetapi ada dasar saintifiknya, walaupun periode pengarakterisasiannya tidak sesuai dengan hasil penelitian modern. Oleh karena itu, kami ingin melakukan penelitian lanjutan untuk membahas khusus periode delapan tahun Lontara'.

IV. KESIMPULAN

Basis periode delapan tahun disandarkan hanya pada alasan numerik, yaitu bahwa pada satu tahun kalender Komariah Jawa Islam berumur 354, 355 hari seperti telah diungkapkan oleh Khazin [6]. Sehingga untuk menjadi genap diperlukan siklus delapan tahun yang berumur 2835 hari. Alasan saintifik sampai pada tahap ini diakui belum cukup memuaskan untuk diungkapkan. Sedangkan kesesuaiannya dengan periode ENSO kuat yang diungkapkan oleh Prihatini [4] dan Jafar [5] menyisakan pertanyaan lanjutan tentang bagaimana mekanisme gerakan peredaran bulan mengelilingi bumi dapat mempengaruhi cuaca.

Pola kejadian tahun basah dan tahun kering pada Tabel-1 memberikan kesesuaian dengan curah hujan yang terekam dalam stasiun pengamatan cuaca [4] [5]. Kondisi curah hujan di wilayah pantai timur, Bone, (normal, rendah, tinggi, tinggi, normal, normal, tinggi, tinggi) bersifat komplementer dalam memproduksi hasil pertanian dibanding dengan curah hujan di wilayah pantai barat, Barru, (tinggi, normal, normal, normal, normal, rendah, rendah, normal).

Diduga bahwa terdapat kesesuaian periode delapan tahun kalender Jawa Islam yang disebut Windu dengan Kalender Lontara Bugis-Makassar yang disebut sipariyama, karena kepentingan yang sama untuk menentukan hari pada awal bulan hijriyah terutama awal bulan muharam, ramadhan, dan zulkaidah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, antara lain Pusat Penelitian Asia Tenggara (Center for Southeast Asian Studies), Universitas Kyoto yang telah memberikan kontribusi dalam perjalanan diskusi langsung dengan Palontara' di tiga daerah.

REFERENSI

- [1] Dadjoeni, N. dan Suyitno, A. 1986. Pedesaan, Lingkungan dan Pembangunan. Penerbit Alumni, Bandung.
- [2] Hamid, P., Mappasere, dan Batong, H. 1990. Astronomi dan Meteorologi Tradisional di Daerah Propinsi Sulawesi Selatan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Dirjen Kebudayaan, Direktorat Sejarah dan Nilai Tradisional, Proyek Inventarisasi dan Pengembangan Nilai-nilai Budaya, Jakarta.
- [3] Yusmar, Syarifuddin. 2008. Penanggalan Bugis-Makassar Dalam Penentuan Awal Bulan Kamariah Menurut Syari'ah dan Sains. *Jurnal Hunafa* Vol. 5 No. 3, 265-286.
- [4] Prihatin, Lina. 2005. Interaksi ENSO (El Niño Southern Oscillation) dengan Monsun menurut Variabilitas Curah Hujan di Propinsi Sulawesi Selatan, Skripsi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, UNHAS, Makassar.
- [5] Jafar, Ferawati. 2005. Interaksi Dipole Mode dengan Monsun menurut Variabilitas Curah Hujan di Propinsi Sulawesi Selatan, Skripsi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, UNHAS, Makassar.
- [6] Khazin, Muhyiddin. 2004. Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik: Perhitungan Arah Kiblat, Waktu Shalat, Awal Bulan dan Gerhana. Buana Pustaka. Yogyakarta, 119.
- [7] Izzan, H. A., Saifullah, I. 2013. Studi Ilmu Falak: Cara Mudah Belajar Ilmu Falak. Pustaka Aufa Media (PAM Press). Banten, 130-139.
- [8] Li, G., Zong, H., Zhang, Q. 2011. 27.3-day and Average 13.6-day Periodic Oscillations in the Earth's Rotation Rate and Atmospheric Pressure Fields Due to Celestial Gravitation Forcing. *Advances in Atmospheric Sciences* Vol. 28 No. 1, 45-58.
- [9] Wilson, I. R. G., and Sidorenkov, N. S. 2013. Long-Term Lunar Atmospheric Tides in the Southern Hemisphere. *The Open Atmospheric Science Journal* 7, 51-76.

Penerapan Gaya Pada Perkiraan Waktu Kematian Dalam Tanatologi

Sri Suryani*

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

*Email: sri_sumah@yahoo.com

ABSTRAK

Tanatologi adalah ilmu yang membahas tentang kematian, yang merupakan salah satu cabang dalam ilmu kedokteran, yang dikenal sebagai forensik. Tanatologi sangat bermanfaat dan digunakan di Kepolisian untuk menangkap pelaku pembunuhan. Beberapa cara digunakan untuk menyelesaikan kasus pembunuhan, seperti penyelidikan sidik jari, waktu kematian, pemeriksaan laboratorium, dan lain sebagainya. Ilmu Fisika adalah salah satu ilmu yang membahas tentang fenomena alam, demikian pula dengan peristiwa kematian makhluk hidup, sehingga beberapa bagian ilmu Fisika dapat digunakan dalam Tanatologi. Khusus Tanatologi yang berhubungan dengan gaya dalam ilmu Fisika adalah pada pemeriksaan sidik jari dan penentuan waktu kematian. Pada makalah ini hanya akan dibahas tentang pemanfaatan gaya yang digunakan untuk menentukan waktu kematian pada jasad manusia.

Kata Kunci: gaya, tanatologi, waktu kematian

I. PENDAHULUAN

Kematian merupakan kata yang cukup menakutkan untuk hampir semua manusia, walaupun kedatangannya sudah dapat dipastikan, tetapi waktu kedatangannya yang tidak dapat ditentukan. Hal ini disebabkan diri kita tidak pernah siap menghadapinya, karena apa yang akan terjadi setelah kematian tidak pernah diketahui. Kematian dapat terjadi secara wajar atau penyebabnya jelas, seperti sakit, tua, dan kecelakaan, tetapi dapat juga kematian disebabkan oleh sesuatu yang berhubungan dengan kejahatan, seperti pembunuhan. Untuk yang terakhir ini, maka Kepolisian bertanggungjawab untuk menyelesaikan kasus tersebut, yaitu untuk menemukan pelaku pembunuhan agar dapat diadili dan diberi hukuman.

Saat menemukan jasad manusia, petugas Kepolisian tidak selalu mendapatkannya dalam keadaan yang baik atau baru, bahkan seringkali mayat sudah dalam keadaan membusuk. Untuk menangkap pelaku pembunuhan tersebut, tentunya diperlukan data tentang waktu kematian, sehingga dapat diketahui aktivitas dan orang-orang di sekitar korban. Dengan menambahkan data tentang motif, maka dapat diketahui pelaku pembunuhan. Umumnya motif kejahatan sangat bervariasi dan dapat ditemukan pada beberapa orang, oleh sebab itu data yang ada pada mayat merupakan data yang sangat penting.

Tinjauan Pustaka

Kata Tanatologi berasal dari dua kata yaitu *thanatos* yang berarti kematian dan *logos* yang berarti ilmu. Jadi Tanatologi adalah ilmu yang membahas segala sesuatu yang berhubungan dengan kematian, seperti batasan mati, perubahan yang terjadi setelah kematian, dan faktor-faktor yang menyebabkan perubahan tersebut. Oleh karena Tanatologi berhubungan erat dengan kedokteran, maka Tanatologi merupakan bagian dalam ilmu kedokteran yang dikenal sebagai forensik.

Tanatologi sering digunakan oleh Kepolisian untuk menentukan kewajaran suatu kematian. Dengan kata lain, apakah proses kematian yang dialami oleh seseorang wajar atau tidak wajar (bunuh diri, kecelakaan, atau dibunuh). Khusus untuk proses kematian yang tidak wajar, diperlukan pemeriksaan lebih lanjut atau sering dikenal sebagai otopsi untuk keperluan menangkap pelaku pembunuhan atau pelaku penyebab kecelakaan agar dapat diadili dan dihukum.

a. Definisi Kematian

Kematian selalu ditandai dengan terhentinya secara permanen fungsi jantung dan pernafasan, atau di dalam Ilmu Kedokteran disebut dengan mati klinis. Dengan berkembangnya teknologi definisi mati tidak lagi mengikuti mati klinis, karena kini sudah ada peralatan bantu pernafasan dan detak jantung. Oleh sebab itu, saat ini kematian melalui tiga tahapan yaitu berhentinya

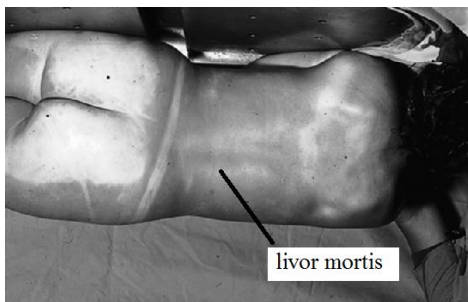
fungsi sirkulasi darah dan pernafasan, kemudian terhentinya aktivitas listrik di otak, dan tahap terakhir adalah terhentinya aktivitas listrik di batang otak, sehingga mati disebut juga sebagai kematian otak atau *brain death* [1].

Definisi lain dari kematian, adalah kematian seorang mengikuti dua tahap, yaitu tahap kematian somatik dan tahap kematian molekular. Tahap kematian somatik ditandai dengan terhentinya fungsi beberapa organ tubuh, seperti metabolisme, jantung, pernafasan, pencernaan, dan aktivitas listrik, sedangkan tahap kematian molekular ditandai dengan adanya dekomposisi jaringan tubuh [2].

b. Tanda-tanda Kematian

Setelah terjadi tahap kematian somatik, maka pada tubuh akan terlihat tanda-tanda kematian, yaitu:

1. **Livor mortis**, atau disebut sebagai lebam mayat, yaitu terjadinya perubahan warna tubuh, bagian atas akan terlihat berwarna lebih pucat daripada bagian bawah.



Gambar 1 : Livor mortis [1]

Hal ini terjadi, karena terhentinya aliran darah pada pembuluh darah kapiler. Livor mortis mulai terjadi saat terhentinya fungsi jantung yang memompa darah sehingga darah pada pembuluh darah kapiler tidak dapat mengalir, yang mengakibatkan terjadinya penumpukan darah.

Livor mortis umumnya berwarna merah ungu pada bagian tertentu, tetapi dapat juga berwarna merah cerah bila mayat terkena racun karbon monoksida, sianida, dan suhu dingin. Berwarna coklat bila mayat terkena racun nitrat, berwarna merah gelap bila terjadi kekurangan oksigen, dan berwarna biru bila mayat terkena racun nitrit [1,2].

Adanya livor mortis atau lebam mayat menunjukkan pastinya proses kematian, mulai muncul 30 menit hingga 2 jam setelah

kematian, tetapi dapat hilang bila dilakukan penekanan pada daerah lebam, dan menetap setelah 8 – 12 jam setelah kematian.

2. **Rigor mortis**, atau dikenal sebagai kaku mayat. Rigor mortis atau kaku mayat terjadi karena ada perubahan kimia yang terjadi pada otot. Hal ini terjadi pada seluruh otot tubuh, tetapi dapat terlihat pada mulanya di wajah, rahang, leher, badan, dan ekstremitas.



Gambar 2 : Rigor mortis [1]

Seperti telah diketahui, kontraksi otot hanya dapat terjadi bila aktin dan miosin saling mengikat satu sama lain, setelah adanya stimulus. Pada keadaan relaks atau otot dalam keadaan istirahat aktin terikat pada troponin dan tropomiosin. Bila ada rangsangan, sarkomer yang menghubungkan filamen tebal dan filamen tipis akan mengeluarkan Ca^{++} yang akan diikat oleh tropomiosin, dan melepaskan aktin. Aktin yang bebas akan berikatan dengan miosin yang akan menghasilkan satu gerakan tarikan atau kontraksi.

3. **Algor mortis**, yaitu penurunan suhu tubuh hingga mencapai suhu yang sama dengan lingkungan. Tubuh, seperti halnya benda yang lain selalu cenderung dalam keadaan setimbang, baik setimbang mekanik maupun termal. Oleh karena suhu tubuh bagian dalam adalah $37^{\circ}C$ yang jauh lebih besar dari suhu lingkungan yaitu $28^{\circ}C - 33^{\circ}C$, maka sesuai dengan hukum termodinamika ke 0, yang mengatakan bahwa akan terjadi aliran panas dari benda yang mempunyai suhu tinggi ke benda yang mempunyai suhu rendah [4], maka setelah kematian, panas akan mengalir ke lingkungan yang menyebabkan suhu tubuh turun. Keadaan ini berlangsung terus hingga terjadi suhu yang sama dengan lingkungan.

Laju penurunan suhu pada awal kematian hingga satu jam setelah kematian sangat rendah. Setelah satu jam setelah kematian laju penurunan suhu mencapai $1,5^{\circ}F$ per jam

hingga mencapai suhu yang sama dengan lingkungan. Walaupun penurunan suhu ini juga dipengaruhi oleh usia, massa tubuh, penyakit, dan keadaan lingkungan (suhu, pakaian, permukaan, dan aktivitas sebelum kematian terjadi) [2,3,5].

4. **Perubahan kornea mata.** Diawali dengan perubahan pada lapisan kornea. Kornea mata akan mengalami kekeringan, karena tidak ada aliran darah, sehingga kornea terlihat keruh [2].
5. **Dekomposisi** atau pembusukan. Proses pembusukan terjadi karena tubuh tidak mendapatkan oksigen sejak fungsi jantung dan aliran darah berhenti. Akibatnya pH tubuh berubah dan proses menjadi anaerobik. Sel akan rusak karena ketiadaan oksigen. Terjadinya proses anaerobik merangsang bakteri yang berada di lambung dan paru-paru untuk bekerja [1,5].

II. HASIL DAN DISKUSI

Mati umumnya ditandai dengan terhentinya pernafasan dan sirkulasi darah, tetapi hal ini merupakan tanda kematian yang tidak pasti, karena dengan bantuan peralatan teknologi, sistem pernafasan dan sirkulasi darah dapat pulih kembali. Oleh sebab itu, kematian yang pasti ditandai dengan tidak berfungsinya aktivitas listrik pada batang otak. Bila hal ini terjadi, maka semua alat bantu kehidupan dapat dicabut.

Berhentinya pemompaan darah oleh jantung akan menurunkan kadar oksigen di dalam tubuh. Di lain pihak, tubuh manusia sangat bergantung pada oksigen. Metabolisme merupakan proses oksidasi yang menggunakan oksigen. Akibatnya proses metabolisme terhenti, dan tubuh tidak mendapatkan energi, yang diantaranya untuk menjaga suhu tubuh agar tetap berada antara 36° C - 37° C, memproduksi adenosin trifosfat (ATP) untuk kontraksi otot, dan menjaga agar tetap terjadi reaksi aerobik.

Terhentinya aliran darah pada awal kematian, akan menyebabkan terkumpulnya aliran darah ke bagian bawah, sesuai dengan hukum Fisika, bahwa setiap benda akan mengalami gaya tarik ke bawah oleh gaya gravitasi bumi [3,4]. Selain itu, darah tidak dapat kembali ke jantung, karena tidak ada pemompaan darah ke otak. Akibatnya, bila posisi mayat dalam keadaan berdiri, maka darah akan terkumpul pada bagian kaki (seperti terjadi pembengkakan, dan bila ditekan dan dilepas akan kembali seperti semula). Umumnya

posisi mayat adalah berbaring, sehingga darah akan terkumpul di daerah punggung (gambar 1).

Seperti yang dijelaskan pada tinjauan pustaka, setelah kematian, suhu tubuh mayat akan menurun (keadaan algor mortis) sekitar 1,5° F atau 0,85°C per jam hingga mencapai suhu yang sama dengan lingkungan. Di lain pihak, lemak tubuh berada dalam keadaan meleleh pada suhu 30°C - 35°C [6]. Keadaan lemak yang tidak terlalu padat diperlukan tubuh untuk dapat melumasi pembuluh darah, sehingga lebih elastis dan aliran darah menjadi lancar. Oleh sebab itu suhu tubuh relatif konstan sekitar 36°C - 37°C.

Keadaan livor mortis akan menetap setelah 8 – 12 jam setelah kematian. Kalau diasumsikan tidak ada yang mempengaruhi laju penurunan suhu tubuh, maka setelah waktu tersebut suhu tubuh adalah sekitar 29,2° C – 30,2° C (untuk 8 jam) dan 25,2° C – 26,8° C (untuk 12 jam). Pada suhu tersebut lemak tubuh sudah memadat, sehingga darah tidak dapat bergerak. Itulah sebabnya keadaan livor mortis menjadi menetap.

Penentuan waktu kematian melalui livor mortis sedikit kurang baik, karena bila mayat berada di ruang yang perbedaan suhunya besar (di ruang berpendingin ruangan, mayat dalam keadaan demam sebelum terjadi kematian), maka laju penurunan suhu akan besar. Demikian pula dengan peletakan mayat, permukaan tempat mayat yang suhunya rendah akan mempercepat proses livor mortis.

Tubuh untuk menjaga keseimbangan sistem yang ada di dalamnya, seperti bergerak, menjaga suhu tubuh, dan lain sebagainya, memerlukan energi, yang dalam hal ini dalam bentuk Adenosin Tri Phosphat (ATP). ATP adalah energi siap pakai yang ada di tubuh. ATP diproduksi melalui tiga cara yaitu resintesis creatinine phosphate (CP) yang ada di otot rangka, aktivitas aerobik, dan glikolisa (oksidasi glukosa) [7]. Cara pertama dan kedua terjadi pada saat seseorang melakukan aktivitas yang besar, sehingga kebutuhan ATP sangat besar. Pada keadaan normal kebutuhan akan ATP dilakukan melalui glikolisis. Bila kebutuhan oksigen tidak terpenuhi (pada saat terjadi kematian), proses glikolisis tidak terjadi, sebaliknya akan dihasilkan ion-ion hidrogen dan metabolit (ADP, P, ion Na). Keadaan ini akan menurunkan pH di otot, yang mengakibatkan adanya enzim yang merangsang produksi Ca⁺⁺, sehingga terjadi kontraksi atau gaya tarik otot [7]. Kontraksi yang terjadi tidak dapat kembali ke posisi relaks, karena tidak adanya ATP.

Kaku mayat atau rigor mortis muncul setelah 20 – 2 jam setelah kematian. Hal ini sesuai dengan proses terjadinya gangguan pada glikolisis karena ketiadaan oksigen adalah sekitar 15 menit [7].

Tanda kematian lainnya seperti pengerutan kornea dan dekomposisi tidak akan dibahas di makalah ini. Dari pembahasan di atas, dapat diketahui peran ilmu Fisika dalam hal ini mekanika (gaya grafitasi dan gaya otot) dalam memprediksi waktu kematian, selain ilmu kimia dan biokimia.

III. KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa gaya grafitasi berperan dalam menimbulkan lebam mayat. Pendapat di masyarakat yang mengatakan bahwa setelah kematian, tubuh akan kehilangan darah (mayat akan tampak pucat) tidak dapat dibenarkan. Tubuh bagian atas akan tampak pucat, karena darah terkumpul pada bagian bawah. Hal ini terjadi karena tidak ada gaya lain untuk melawan gaya grafitasi.

Otot yang kaku, karena ada gaya tarik otot / kontraksi otot tidak dapat kembali ke bentuk semula, karena menurunnya konsentrasi oksigen di tubuh yang mengakibatkan gangguan produksi ATP.

Untuk perkiraan yang tidak terlalu akurat (sesaat), sebelum dilakukan otopsi (setelah otopsi akan diperoleh perkiraan waktu dan sebab kematian dengan tepat), maka mekanika dapat dimanfaatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dr. Ulfa C. Indiasari dari bagian Ilmu Kedokteran

Forensik dan Medikolegal, Fakultas Kedokteran - Universitas Hasanuddin – Makassar, atas presentasinya pada saat Micro Teaching pada Pelatihan PEKERTI tahun 2009 di PKPAI – LKPP – UNHAS. Presentasi yang diberikan memberikan ide pada penulis untuk meneliti lebih lanjut.

REFERENSI

- [1] Ulfa C. Indiasari, 2009, *Tanatologi*, Ilmu Kedokteran Forensik dan Medikolegal, Fakultas Kedokteran - Universitas Hasanuddin – Makassar.
- [2] Anonim, *Post Mortem Interval*, [Internet] available from http://library.thinkquest.org/04oct/00206/text_index.htm, diakses pada tanggal 9 September 2015.
- [3] Sherwood, L. 1996, *Fisiologi Manusia : Dari Sel ke Sistem*, edisi 2, terjemahan oleh dr. Brahm U.Pendit, Sp.KK., EGC Penerbit Buku Kedokteran
- [4] Ackerman E., Lynda B.M. Ellis, dan Lawrence E. Williams, (1988), *Biophysics*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [5] Anonim, *Post Mortem Guide*, [Internet], available from <http://aguidetoduction.tumblr.com>, diakses pada tanggal 9 September 2015.
- [6] Knut Schmidt – Nielsen, 2008, *Melting Points of Human Fats as Related To Their Location In The Body*, Acta Physiologica, volume 12, issue 2 – 3.
- [7] Karp, J., 2009, *The Three Metabolic Energy Systems*, [Internet], available from <http://www.ideafit.com/fitness-library/the-three-metabolic-energy-systems>, diakses pada tanggal 1 November 2015.

Pengaruh Konsentrasi Zinc Acetat Dehidrat Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis *Bilayer* ZnO/TiO₂

Nur Aeni*, Musfitasari, Eko Juarlin dan P.L. Gareso

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Hasanuddin

*Email: nuraeni812@gmail.com

ABSTRAK

Lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO₂ telah dideposisikan diatas substrat kaca dengan perbedaan konsentrasi seng Asetat Dehidrat menggunakan metode *sol-gel spin coating*. Pembuatan larutan ZnO dilakukan dengan melarutkan seng asetat dehidrat kedalam larutan *ethanol* lalu ditambahkan triethanolamin. Sedangkan pembuatan larutan TiO₂ dilakukan dengan melarutkan *titanium tetraisopropoxide* kedalam *ethanol* lalu ditambahkan asam asetat. Larutan ZnO sebagai lapisan pertama dideposisikan terlebih dahulu diatas substrat kaca kemudian dilanjutkan larutan TiO₂, temperatur deposisi sama besar 500⁰ C selama 60 menit. karakteristik sifat optik ZnO/TiO₂ menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Hasil pengujian menunjukan bahwa molaritas larutan ZnO mempengaruhi sifat optik lapisan tipis ZnO/TiO₂. Molaritas larutan ZnO sebesar 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M memiliki nilai celah pita energi yang berbeda dengan masing-masing sebesar 3,056 eV, 3,147 eV, dan 3,163 eV.

Kata kunci : celah pita energi, lapisan tipis ZnO/TiO₂, spin coating.

I. PENDAHULUAN

Titanium Dioksida (TiO₂) memiliki banyak sifat yang menarik untuk diteliti karena bermacam-macam penggunaan diantaranya adalah sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan sensor. TiO₂ mempunyai kemampuan menyerap sinar yang tinggi yang ditandai dengan harga energi celah pita (*band gap*) yang relatif besar, stabil terhadap cahaya, dan keberadaannya melimpah di alam. Selain itu, kelebihan TiO₂ lainnya adalah dari sudut pandang lingkungan, TiO₂ merupakan material semikonduktor yang tidak beracun[1-2].

Disamping TiO₂, terdapat juga semikonduktor lain yang memiliki sifat kimia dan fisika yang hampir sama yaitu ZnO. ZnO merupakan bahan semikonduktor tipe-*n* dengan celah pita energi sebesar 3,37 eV dan energi ikat sebesar 60 meV. ZnO adalah bahan oksidasi yang baik digunakan sebagai fotokatalis. Menggabungkan material ZnO dan TiO₂ ke dalam struktur terintegrasi dapat meningkatkan fungsi kerja dari sebuah material fotokatalis. Lapisan tipis TiO₂ dan ZnO, memiliki celah pita yang lebar, stabilitas tinggi dan katalis yang baik dimana keduanya cocok dipasangkan dan dibentuk menjadi stuktur *multi-layer*[3-7].

Proses pembuatan lapisan tipis ZnO/TiO₂ ini menggunakan metode *spin coating*. Metode ini dipilih karena tergolong sederhana, mudah dalam pengoperasiannya dan biaya relatif murah. Penelitian ini difokuskan pada penyelidikan mengenai pengaruh konsentrasi

seng asetat dehidrat terhadap sifat optik lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO₂.

II. BAHAN DAN METODA

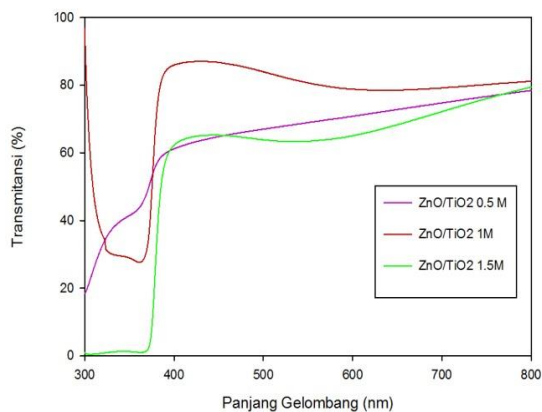
Lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO₂ dibuat pada substrat kaca dengan metode *spin coating* melalui proses sol-gel dengan Konsentrasi *Zinc Asetat Dehidrat* yang bervariasi yaitu : 0,5 M; 1 M; 1,5 M sedangkan untuk lapisan tipis TiO₂ konsentrasinya adalah 0,5 M. Pembuatan larutan ZnO dilakukan dengan melarutkan *zinc acetate dehydrate* kedalam larutan *ethanol* diaduk pada temperatur 80⁰ C selama 30 menit lalu ditambahkan *triethanolamine* menggunakan *hotplate magnetic stirrer* pada laju putaran 1100 rpm selama 5 jam sehingga didapatkan larutan yang homogen. Pembuatan larutan TiO₂ dengan melarutkan *titanium tetraisopropoxide* (TTIP) kedalam *ethanol* pada temperatur 80⁰ C dengan laju putaran 1100 rpm. Setelah 30 menit, larutan ditambahkan asam asetat diaduk selama 5 jam pada temperatur 80⁰ C.

Sebelum proses deposisi, kaca preparat dibersihkan terlebih dahulu dengan HCL yang dilarutkan dalam aquades, kemudian dibilas dengan alkohol dan aquades. Kaca preparat diletakkan diatas pelat *spin coater* dan sol ZnO ditetaskan diatas kaca 4-5 tetes kemudian diputar(*spinning*) selama 15 detik pada laju 3000 rpm. Dilanjutkan pelapisan kedua untuk larutan TiO₂ diatas lapisan ZnO secara merata. Lapisan tipis ZnO/TiO₂ kemudian dipanaskan dengan suhu 300⁰ C selama 10 menit sebagai pemanasan awal (*preheating*). Pemanasan

dilanjutkan dengan menggunakan *furnace* pada suhu 500°C selama 60 menit untuk membentuk Kristal ZnO/TiO₂. Sampel kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III. HASIL DAN DISKUSI

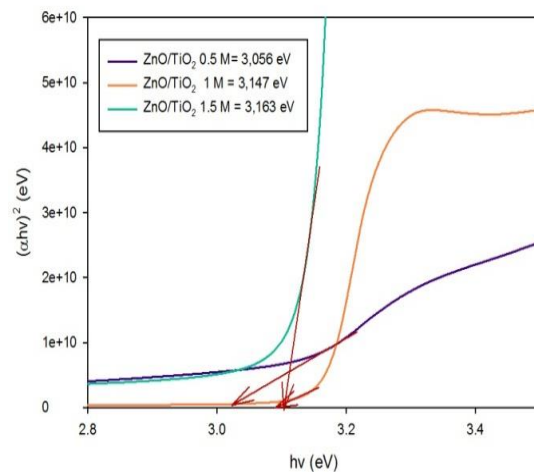
Sifat optik ZnO dan TiO₂ lapisan tipis dapat ditentukan berdasarkan pengamatan spektrum transmitansi yang diperoleh dari alat spektrofotometer UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 300 nm-800 nm. Hasil pengukuran ini diperlihatkan dalam gambar 1



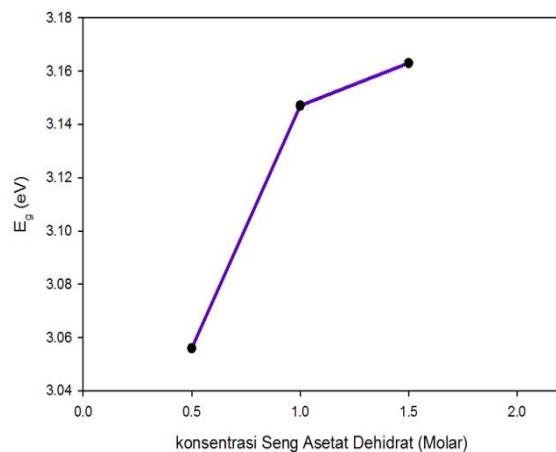
Gambar.1. Spektrum transmitansi lapisan tipis ZnO/TiO₂ diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

Gambar 1 memperlihatkan hasil pengukuran transmitansi lapisan tipis bilayer ZnO/TiO₂ pada sampel 0,5 M; 1 M; dan 1,5 M, masing – masing akan meneruskan cahaya 18-78%, 28-87%, dan 1-79%. Dari hasil yang didapatkan terlihat bahwa setiap penambahan konsentrasi seng asetat dehidrat menyebabkan terjadinya pergeseran pada daerah penyerapan sehingga hal ini berpengaruh pada nilai pita energi yang dihasilkan. Dalam penelitian ini nilai pita energi menunjukkan peningkatan.

Untuk menentukan besarnya nilai celah pita energi E_g dari film ZnO/TiO₂, dibuat grafik antara $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$. Gambar 2 menunjukkan grafik antara $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$ dari lapisan tipis bilayer ZnO/TiO₂ untuk masing-masing 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M. Nilai pita energi (E_g) ditentukan dengan mengekstrapolasi bagian linier dari kurva ke sumbu energi ($h\nu$). Nilai pita energi masing-masing sampel berturut-turut adalah 3,056 eV, 3,147 eV, dan 3,163 eV. Nilai pita energi terkecil diperoleh pada konsentrasi 0,5 M.



Gambar 2. Plot $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$ pada lapisan tipis bilayer ZnO/TiO₂



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi seng asetat dehidrat terhadap nilai pita energi

Perubahan nilai pita energi kemungkinan disebabkan oleh adanya perbedaan ukuran dari ukuran partikel yang dipengaruhi oleh penambahan konsentrasi seng asetat. Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai celah pita energi dari sampel 0,5 M sampai 1,5 M meningkat. Hasil nilai pita energi ini juga cenderung sama dengan hasil pergeseran transmitansi yang diperoleh. Ada beberapa hal yang mempengaruhi perubahan nilai pita energi, antara lain parameter preparasi, metode preparasi dan perlakuan annealing. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang meninjau tentang sifat optik lapisan tipis bilayer ZnO/TiO₂[8].

IV. KESIMPULAN

Lapisan tipis bilayer ZnO/TiO₂ telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat kaca dengan metode *spin coating* dengan variasi konsentrasi

seng asetat dehidrat 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M. Nilai transmitansi mengalami penurunan yang cukup besar akibat adanya absorpsi yang terjadi pada panjang gelombang tertentu dan memiliki nilai celah pita energi kristal ZnO/TiO₂ berturut turut adalah 3,056 eV , 3,147 eV, dan 3,163 eV.

REFERENSI

- [1] Sopyan, I, 1998, *Pengaruh Kristal TiO₂ dalam degradasi Fotokatalitik Amonia dan Hidrogen Sulfida*, Indonesian Journal Of Materials Science, Volume 3 No.3, Juni 2002,hal : 39-43.
- [2] Linsebigler, A.L, Guangquan Lu, and John T.Yates,Jr, 1995, *Photocatalysis on TiO₂ Surfaces : Principles, Mechanisms, and Selected Results*, Chem.Rev, 95, 735-758.
- [3] Deng, J., Yu Bo, Lou, Z., Wang, L.,Wang, R.,Zhang,T.,2013, *Facile Synthesis and Enhanced Ethanol Sensing Properties of The Bush-Like ZnO-TiO₂ Heterojunctions Nanofibers*, Sensors and Actuators B vol.184 hal. 21-26.
- [4] Irajanned A, TanH. Huang, C.K. Lim, P.Y. Tan.X, Fang, C.S. Chua, S. Maleksaeedic, Hejazid, Shahjamali, Ghaffarib, 2011, *Effect of the TiO₂ shell thickness on the dye-sensitized solar cells with ZnO-TiO₂ core-shell nanorod electrodes*, ElectrochimicaActa : Elsevier.
- [5] Park, K., Zhang, Q., Garcia, B.B., and Cao, G., 2011, *Effect of Annealing Temperature On TiO₂-ZnO Core-Shell Aggregate Photoelectrodes of Dye-Sensitized Solar Cells*, The Journal Of Physical Chemistry : University of Washington United States.
- [6] Gu, Y.Z., Lu, H.L., Geng, Y., Ye, Z.Y., Zhang, Y.,Sun, Q.Q., Ding, S.J, and Zhang, D.W., 2013, *Optical and Microstruktural Properties of ZnO/TiO₂ Nanolaminates Prepared by Atomic Layer Deposition*, Nanoscale Research Letter 8:107.
- [7] Parno, 2002, *Pendahuluan Fisika Zat Padat*, Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.
- [8] Aditya, H.Y., Sutanto, H., 2014, *Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis Bilayer ZnO/TiO₂ yang Dideposisikan Menggunakan Metode Sol-Gel Spray Coating dan Aplikasinya Sebagai Fotodegradasi Zat Warna*, Youngster Physics Journal Vol 3, No. 3, Juli 2014, Hal 223-230.

Pengaruh Pemanasan Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis *Bilayer ZnO/TiO₂*

Musfitasari*, Nur Aeni, Eko Juarlin dan P.L. Gareso

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Hasanuddin

*Email : Musfitasari1@gmail.com

ABSTRAK

Lapisan tipis ZnO/TiO₂ telah dideposisikan diatas substrat kaca dengan memvariasikan suhu pemanasan menggunakan metode sol-gel spin coating. Pembuatan larutan ZnO dilakukan dengan melarutkan seng asetat dehidrat kedalam larutan ethanol lalu ditambahkan triethanolamin. Sedangkan pembuatan larutan TiO₂ dilakukan dengan melarutkan titanium tetraisiproxide kedalam ethanol lalu ditambahkan asam asetat. Larutan ZnO sebagai lapisan pertama dideposisikan terlebih dahulu diatas substrat kaca kemudian dilanjutkan larutan TiO₂. Suhu pemanasan yang digunakan adalah 300⁰ C, 400⁰ C, dan 500⁰ C selama 60 menit. karakteristik sifat optik ZnO/TiO₂ menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Hasil pengujian menunjukan bahwa pemanasan suhu mempengaruhi sifat optik lapisan tipis ZnO/TiO₂. Nilai celah pita energi yang diperoleh masing-masing sebesar 3,2 eV, 3,17 eV, dan 3,12 eV.

Kata kunci : celah pita energi, lapisan tipis ZnO/TiO₂, spin coating.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat. Perkembangan ini dapat dilihat dimana para peneliti berlomba-lomba melahirkan inovasi dalam segala bidang. Salah satu diantaranya adalah pengembangan dalam bidang teknologi material. Banyak penelitian tentang material yang fokus pada bahan semikonduktor[1-8]. Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan pita energi yang berada diantara isolator dan konduktor ($E_g = \pm 1-5,6$ eV).

Salah satu material yang digunakan dalam semikonduktor adalah ZnO/TiO₂. ZnO/TiO₂ dianggap sangat cocok dalam penggabungan bahan semikonduktor karena lapisan tipis ZnO dan TiO₂ memiliki pita energi lebar, indeks bias tinggi, stabilitas tinggi dan katalis yang baik. ZnO/TiO₂ memiliki keunggulan pada aplikasinya yaitu sebagai sensor, fotokatalis dan fotovoltaiik [1-3].

Penelitian tentang ZnO/TiO₂ telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Human Yuda Aditya bersama dengan Heri Susanto (2014) telah melakukan penelitian analisis sifat optik ZnO/TiO₂ dengan metode *Spray Coating*. Penelitian tersebut memvariasikan konsentrasi ZnO pada pembuatan lapisan tipis ZnO/TiO₂[1]. Lie Shao (2012) bersama dengan rekannya juga telah melakukan penelitian srtuktur kristal TiO₂/ZnO dengan metode *Pulse Laser Deposition*. Penelitian tersebut melakukan perbandingan struktur kristal dan sifat optik antara TiO₂, ZnO dan TiO₂/ZnO[2]. Selain penelitian tersebut, S.A. Siuleiman (2013) bersama dengan rekannya juga telah melakukan

penelitian untuk menganalisis sifat dan struktur kristal ZnO/TiO₂ dengan metode *spin coating* dengan memvariasikan kecepatan *spin coating* [3].

Berdasarkan penjelasan tersebut, dalam penelitian ini dibuat lapisan tipis ZnO/TiO₂ dengan memvariasikan pemanasan yaitu pada suhu 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C. Proses pembuatan menggunakan metode *sol gel spin coating*. *Sol-gel spin coting* adalah metode untuk membuat lapisan dari bahan polimer *photoresist* yang dideposisikan pada permukaan silikon dan material lain yang berbentuk wafer. Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan pengaruh pemanasan terhadap sifat optik seperti lebar pita energi pada lapisan tipis bilayer ZnO/TiO₂.

II. BAHAN

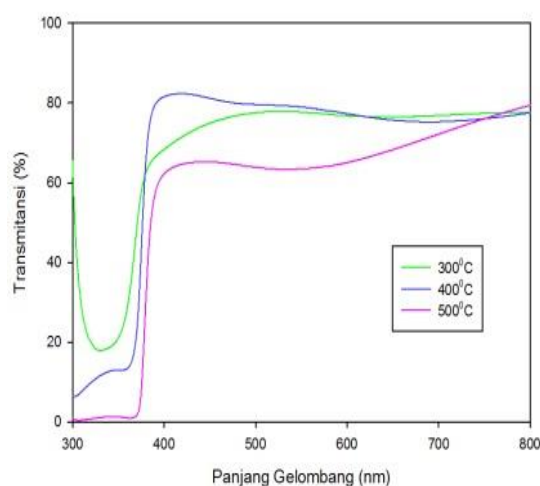
Penelitian dilakukan melalui 3 tahap yaitu pembuatan prekursor ZnO dan TiO₂, proses pelapisan (deposisi) ZnO/TiO₂ di atas substrat kaca dengan menggunakan metode *spin coating*, serta karakterisasi lapisan ZnO/TiO₂ menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pembuatan larutan ZnO dan TiO₂ menggunakan metode *sol gel*. Molaritas larutan ZnO sebesar 1,5 M. Pembuatan prekursor ZnO dilakukan dengan melarutkan *zinc acetate dehydrate* ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) ke dalam larutan etanol. Larutan tersebut diaduk di atas *Hotplate Magnetic Stirrer* selama 60 menit pada suhu 80°C dengan laju 1100 rpm. Larutan yang telah diaduk kemudian ditambahkan dengan 0,6 ml TEA (*trietanolamine*). Larutan tersebut diaduk kembali diatas hotplat selama 6 jam dengan suhu 80°C. sedangkan untuk pembuatan prekursor

TiO₂ dilakukan dengan melarutkan 1,5 ml *Titanium Tetraisopropoxide* (TTIP) ke dalam 10 ml etanol. Campuran tersebut diaduk di atas Hotplate Magnetic Stirrer selama 60 menit pada suhu 80°C. Larutan yang telah diaduk kemudian ditambahkan 0,1 ml acetat acid, kemudian diaduk kembali di atas hotplate selama 5 jam pada suhu 80 °C dengan laju 1100 rpm.

Proses pelapisan ZnO/TiO₂ di atas substrat kaca dilakukan dengan metode spin coating. Sebelum pelapisan dilakukan substrat kaca dibersihkan terlebih dahulu menggunakan HCl yang telah dilarutkan dalam aquades. Substrat kaca diletakkan di atas pelat *spin coater* kemudian prekursor ZnO ditetaskan di atas substrat kemudian diputar selama 15 detik pada laju 3000 rpm. Substrat film ZnO dikeringkan pada suhu 300 °C selama 10 menit di atas *hotplate*. Selanjutnya prekursor TiO₂ dideposisi diatas kaca yang sudah terbentuk lapisan ZnO. Lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO₂ dikeringkan pada suhu 300 °C selama 10 menit di atas *hotplate*. Pemanasan dilanjutkan menggunakan *furnace* dengan memvariasikan suhu yakni pada suhu 300 °C, 400 °C dan 500 °C. Sampel kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrometer UV-Vis.

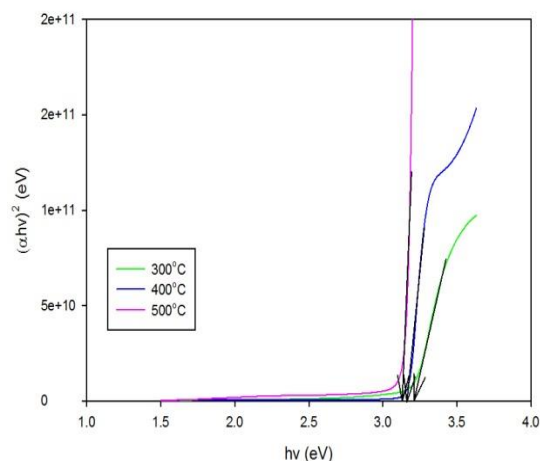
III. HASIL DAN DISKUSI

Sifat optik (transmitansi dan absorbansi) dari lapisan ZnO/TiO₂ diamati dengan menggunakan Spektrometer UV-Vis dengan rentang panjang gelombang antara 300nm hingga 800 nm. Transmitansi lapisan tipis ZnO/TiO₂ ditunjukkan pada gambar 1. Hasil pengukuran pada gambar 1 memperlihatkan pada sampel 300°C, 400°C dan 500°C, masing-masing akan meneruskan cahaya pada 18-77%, 6-77%, 1-79%. Dari hasil yang didapat terlihat bahwa suhu mempengaruhi terjadinya pergeseran pada daerah penyerapan walaupun tidak begitu signifikan. Perubahan transmitansi yang cukup tajam terjadi pada rentang panjang gelombang 360-480 nm. Pergeseran daerah penyerapan ini akan berpengaruh pada nilai pita energi yang dihasilkan.

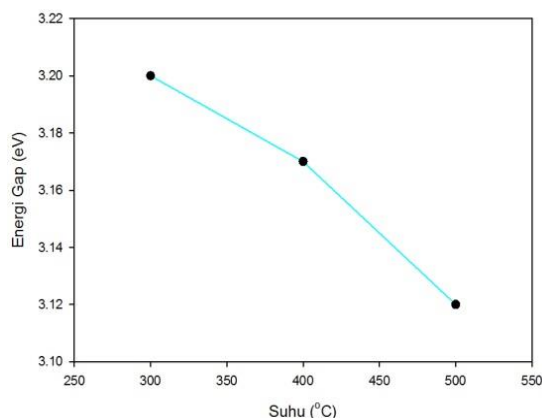


Gambar 1. Spektrum transmitansi ZnO/TiO₂ pada suhu 300°C, 400°C dan 500°C

Untuk menentukan nilai pita energi dilakukan pengaplotan antara $(\alpha h\nu)^2$ dengan $h\nu$ untuk masing-masing sampel serta mengekstrapolasi bagian linier dari kurva ke sumbu $h\nu$. Gambar 2 menunjukkan hasil Touc plot antara antara $(\alpha h\nu)^2$ dengan $h\nu$ pada suhu 300°C, 400°C dan 500°C. Dari hasil pengaplotan tersebut diperoleh nilai pita energi (E_g) pada suhu 300°C, 400°C dan 500°C secara berturut-turut yaitu 3,2 eV, 3,17 eV dan 3,12 eV.



Gambar 2. Nilai pita energi (E_g) pada suhu 300°C, 400°C dan 500°C



Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap nilai celah pita energi.

Berdasarkan gambar 3 pergeseran nilai pita energi (E_g) pada penelitian ini dipengaruhi oleh suhu pemanasan pada sampel, secara teori meningkatnya suhu pemanasan menyebabkan nilai pita energi semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh energi termis vibrasi di jaringan atom yang bertambah besar mengakibatkan jarak-jarak atom juga bertambah besar dan memperkecil energi gap suatu material.

IV. KESIMPULAN

Lapisan ZnO/TiO₂ telah berhasil dibuat dengan metode sol gel spin coating di atas substrat kaca dengan memvariasikan suhu pemanasan. Nilai pita energi (E_g) pada suhu 300°C, 400°C dan 500°C masing-masing secara berturut-turut yaitu 3,2 eV, 3,17 eV, 3,12 eV. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin tinggi suhu pemanasan nilai pita energi semakin kecil.

REFERENSI

- [1] Aditya, Hanun Y et al. 2014. *Analisis Sifat Optik Lapisan tipis Bilayer ZnO/TiO₂ yang Diposisikan Menggunakan Metode Sol-Gel Spray Coating dan Aplikasinya sebagai Fotodegradasi Zat Warna*. Youngster Physics Journal. Vol 3. No 3. Hal 223-230.
- [2] Zhao, Lie et al. 2012. *Structure and Photocatalysis of TiO₂/ZnO Double-Layer Film Prepared by Pulsed Laser Deposition*. Material transactions, The Japan Institute metals. Vol 53. No 3.hal 463-468.
- [3] Siuleiman, S.A et al. (2013). *Nanosized composite ZnO/TiO₂ thin films for photocatalytic applications*. Bulgarian Chemical communications. Vol 45. No 4. Hal 649-654.
- [4] Yacobi, B.G. 2004. *Semiconductor Materials An Introduction to Basic Principles*. Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. ISBN: 0-306-47942-7.
- [5] Moudgil, Harish K et al. 2014. *Textbook of Physical Chemistry*. Second Edition. Delhi: PHI Learning Private Limited. ISBN: 978-81-203-5062-5.
- [6] Klingshirm, C. 2007. *Fundamental Properties of ZnO Nanostructures*. Weinheim. Inter Science.
- [7] Licciulli, Dott Antonio et al. 2002. *Self-Cleaning Glass*. Università Degli Studi Di Lecce. DIO: 10.1002/CPHC 200700002.
- [8] Tang, H et al. 1993. *Ellectrical and optical properties of TiO₂ anatase thin films*. Institut de Physique Applique, Ecole Poytechnique Fiderale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switserlan. Vol 75. No 4.
- [9] Fakuda, Mitsuo. 1998. *Optical Semiconductor devices*. United States Of Amerika. ISBN: 0-471-14959-4.
- [10] Pudjaatmaka, A. Hadyana dan L. Setiono. 1994. Vogel: Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik. Jakarta: Kedokteran EGC.

Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Jigsaw Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Pada Topik Pengukuran

Mursalin*

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Gorontalo

*Email : mursalin@ung.ac.id

ABSTRAK

Penelitian *pre-experiment* ini bertujuan untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada topik pengukuran. Penelitian ini menggunakan rancangan one group pretest posttest design dengan melibatkan sampel sebanyak 32 siswa kelas X di salah SMA di Gorontalo. Data dikumpulkan melalui tes pilihan ganda. Hasil penelitian menunjukkan rerata gain ternormalisasi sebesar 0.62 pada pertemuan pertama, 0.78 pada pertemuan kedua, dan 0.83 pada pertemuan ketiga, dengan rata-rata peningkatan hasil belajar siswa untuk ranah kognitif sebesar 0.74 pada kriteria baik. Selain itu, persentase siswa pada aspek keterampilan membaca hasil pengukuran juga meningkat, yakni 62,5% pada pertemuan pertama, 75% pada pertemuan kedua, dan 87,5% pada pertemuan ketiga. Hasil menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran jigsaw pada topik pengukuran dapat meningkatkan hasil belajar siswa pada ranah kognitif dan keterampilan siswa dalam membaca hasil pengukuran.

Kata Kunci: Pembelajaran Jigsaw, Hasil Belajar Kognitif, Pengukuran.

I. PENDAHULUAN

Fisika sebagai bagian dari sains merupakan ilmu pengetahuan fundamental karena berkaitan erat dengan perilaku dan struktur benda (Giancoli, 2001). Selain itu, fisika juga dapat diartikan sebagai ilmu pengukuran secara kuantitatif karena teori-teori fisika pada umumnya dirumuskan berdasarkan hasil-hasil pengukuran. Pengukuran yang teliti merupakan salah satu sisi dari proses ilmiah. Tujuan pembelajaran fisika di sekolah adalah untuk melatih siswa agar memiliki kemampuan dalam menguasai pengetahuan, konsep, dan prinsip-prinsip fisika dengan mengembangkan kompetensinya berdasarkan fakta. Dengan demikian, pembelajaran fisika harus dikonstruksi sedemikian hingga dapat memberikan pengalaman langsung kepada siswa untuk mengembangkan kompetensinya.

Kenyataannya, proses pembelajaran fisika di sekolah lebih banyak berorientasi pada pemberian tugas dan ceramah untuk mencapai target kurikulum, siswa pasif, dan tidak konstruktivis, serta tidak dilatihkan menggunakan alat-alat ukur besaran-besaran fisika. Dengan kata lain, proses pembelajaran yang terjadi kurang bermakna, aktif, kreatif, dinamis, dialogis, dan menyenangkan. Menurut Liliasari (2007) bahwa proses pembelajaran sains termasuk fisika di sekolah pada umumnya dilakukan secara verbalistik dan disajikan

melalui ceramah sehingga menuntut siswa mengenal istilah-istilah secara hafalan tanpa makna.

Guru sebagai pihak pertama yang bertanggung jawab dalam menentukan keberhasilan siswa dalam proses belajarnya seyogianya memiliki kemampuan dalam memilih model pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik materi yang akan diajarkan. Menurut Sunarno (1998) bahwa model pembelajaran merupakan pendukung suksesnya kegiatan belajar mengajar di kelas. Model dapat diartikan sebagai analogi atau bayangan mengenai fenomena.

Salah satu model pembelajaran fisika yang diduga dapat membantu dan memfasilitasi siswa ke arah paradigma *student centered* adalah penerapan model pembelajaran kooperatif jigsaw. Menurut Trianto (2007) bahwa pembelajaran kooperatif unggul dalam membantu siswa memahami materi-materi yang sulit, dan dapat meningkatkan kinerja siswa dalam menyelesaikan tugas-tugas akademiknya. Pendapat lain, (Isjoni, 2009) menyebutkan bahwa pembelajaran kooperatif bertujuan untuk mencapai hasil belajar akademik atau prestasi siswa; penerimaan perbedaan individu seperti ras, budaya, sosial-ekonomi, dan kemampuan; dan pengembangan keterampilan sosial seperti keterampilan bekerjasama dan kolaboratif. Selain itu, pembelajaran kooperatif berpusat pada kelompok dan individu. Dalam pembelajaran kooperatif jigsaw, siswa

dikelompokkan menjadi beberapa kelompok (disebut kelompok), setiap anggota kelompok asal diberi materi yang berbeda untuk dipelajari, anggota kelompok yang mempelajari materi yang sama dari semua kelompok bertemu untuk mendiskusikan materinya (disebut kelompok ahli), anggota kelompok ahli setelah berdiskusi kembali ke kelompok asalnya untuk mengajar teman-teman kelompok asalnya, kemudian siswa diberi kuis individu.

II. BAHAN DAN METODA

Penelitian *pre-experiment* ini menggunakan rancangan *one group pretest-posttest* (Cohen & Manion, 1994; Sugiyono, 2006). Disain ini disajikan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Disain Penelitian

Pertemuan ke	Pretest	Treatment	Posttest
1	T	X	T
2	T	X	T
3	T	X	T

T = Tes sebelum dan sesudah treatment dan
X = Model pembelajaran kooperatif jigsaw.

Dari disain penelitian di atas, maka sampel penelitian dipilih dengan teknik *cluster random sampling* dari populasi siswa SMA kelas X pada suatu sekolah di Kota Gorontalo, sedangkan instrumen pengumpul data yang digunakan adalah tes pilihan ganda, lembar pengamatan keterampilan siswa membaca hasil pengukuran, dan angket.

Tabel 2. Klasifikasi nilai hitung rerata gain ternormalisasi <g>

Persamaan Hake	No	Klasifikasi Gain
$\langle g \rangle = \frac{\langle X_f \rangle - \langle X_i \rangle}{100 - \langle X_i \rangle}$	1.	$(g) \geq 0,7 =$ Tinggi
	2.	$0,3 \leq \langle g \rangle < 0,7 =$ Sedang
	3.	$\langle g \rangle < 0,3 =$ Rendah

Penerapan model pembelajaran kooperatif jigsaw dalam penelitian ini diawali dengan *pretest* kemudian diikuti *posttest* pasca *treatment*. Hasil *pretest-posttest* dimaksudkan untuk menentukan peningkatan hasil belajar

siswa pada topik pengukuran dengan menghitung rerata gain ternormalisasi <g> melalui persamaan Hake (1998), kemudian nilai hitung rerata gain ternormalisasi tersebut diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.

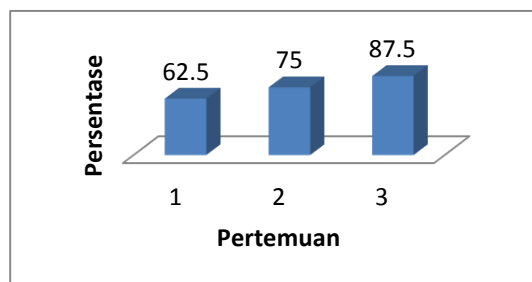
III. HASIL DAN DISKUSI

Deskripsi data statistik dari rerata skor hasil *pretest* dan *posttest* serta rerata gain ternormalisasi pada topik pengukuran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi rerata skor *pretest*, *posttest*, dan gain ternormalisasi

Pertemuan ke	Rerata Skor		<g>	
	Pretest	Posttest	Nilai	Klasifikasi
1	32,70	74,42	0.62	Sedang
2	38,51	86,47	0.78	Tinggi
3	39,65	89,74	0.83	Tinggi

Data dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa rerata skor hasil *pretest*, *posttest*, dan rerata gain ternormalisasi meningkat dari pertemuan 1 hingga pertemuan 3. Hasil ini juga menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran kooperatif jigsaw dapat membantu siswa untuk meningkatkan kemampuan kognitifnya dalam proses belajarnya sehingga hasil belajarnya meningkat. Selain itu, hasil ini juga dapat dikatakan bahwa keterlaksanaan model pembelajaran kooperatif jigsaw semakin baik. Pada pertemuan 1, keterlaksanaan model pembelajaran kooperatif jigsaw diduga belum maksimal. Dikatakan demikian karena guru dan siswa masih berada dalam proses penyesuaian dan belum terbiasa menerapkan tahapan-tahapan model pembelajaran tersebut serta guru belum menguasai kelas. Kelemahan-kelemahan ini menjadi catatan perbaikan bagi guru dan siswa dalam menerapkan tahapan-tahapan model pembelajaran kooperatif jigsaw pada pertemuan berikutnya.



Gambar 1. Persentase siswa yang terampil membaca dan menuliskan hasil pengukuran

Selanjutnya, persentase siswa pada aspek keterampilan siswa dalam membaca dan menuliskan hasil pengukuran pada penggunaan alat ukur jangka sorong, mikrometer skrup, voltmeter, dan amperemeter disajikan pada Gambar 1.

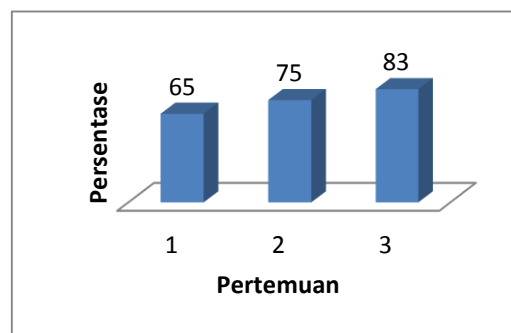
Data dalam Gambar 1 menunjukkan persentase siswa yang terampil membaca dan menuliskan hasil pengukuran pada alat ukur jangka sorong lebih rendah dari alat ukur mikrometer skrup, voltmeter dan amperemeter. Hal ini diduga terjadi karena pada penggunaan alat ukur jangka sorong lebih rumit dibandingkan dengan alat ukur lainnya, dan alat ukur jangka sorong yang digunakan memiliki 3 (tiga) macam banyaknya skala nonius dengan ketelitian yang berbeda.

Berikut, data dalam Tabel 4 menunjukkan rerata persentase tanggapan siswa terhadap penerapan model pembelajaran jigsaw meningkat dari pertemuan 1 hingga pertemuan 3.

Tabel 4. Persentase tanggapan siswa yang setuju terhadap pertanyaan-pertanyaan angket.

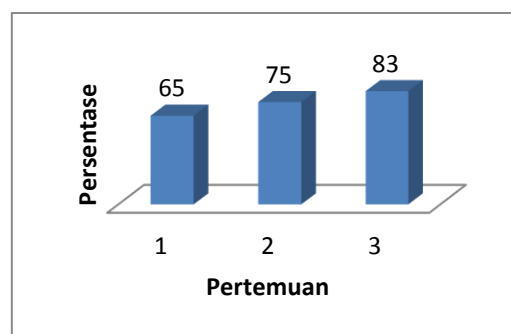
No	Pernyataan Angket	Pertemuan ke		
		1	2	3
1.	Pembelajaran jigsaw merupakan model pembelajaran menyenangkan	62	75	81
2.	Dalam pembelajaran jigsaw, membuat saya lebih tertarik dan termotivasi untuk belajar	75	78	84
3.	Penerapan model pembelajaran jigsaw, kemampuan saya membaca dan menuliskan hasil pengukuran meningkat	62	75	88
4.	Melalui pembelajaran jigsaw, kemampuan saya menjawab soal-soal latihan meningkat	59	69	72
5.	Melalui pembelajaran jigsaw, rasa ingin tahu dan partisipasi saya dalam berdiskusi meningkat	66	78	88

Tabel 4 menunjukkan peningkatan persentase tanggapan siswa terhadap penerapan model pembelajaran jigsaw pada topik pengukuran dari pertemuan 1 hingga pertemuan 3. Hasil analisis data dalam Tabel 4 menunjukkan persentase yang terendah adalah kemampuan siswa menjawab soal-soal latihan, tetapi meningkat dari pertemuan 1 hingga pertemuan 3. Rerata persentase tanggapan siswa tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rerata persentase tanggapan siswa

Rerata persentase tanggapan siswa terhadap penerapan model pembelajaran kooperatif jigsaw disajikan pada Gambar 2 menunjukkan peningkatan dari pertemuan 1 hingga pertemuan 3.



IV. KESIMPULAN

Hasil dan pembahasan menunjukkan hasil belajar siswa pada ranah kognitif meningkat untuk topik pengukuran pasca penerapan model pembelajaran kooperatif jigsaw. Penerapan model pembelajaran tersebut juga dapat meningkatkan keterampilan siswa dalam membaca dan menuliskan hasil pengukuran.

REFERENSI

- [1] Giancoli, D.C. (2001). Fisika, Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga
- [2] Hake, R.R. (1998). *Interactive Engagement Versus Traditional Methods: A Six Thousand Student Survey of Mechanics*

- Test Data For Introductory Physics Course, Am. J. Phys. 66 (1) 64 – 74.
- [3] Isjoni. (2009). Cooperative Learning. Yogyakarta : Pustaka Pelajar
- [4] Liliarsi. (2007). *Scientific Concepts and Gereric Science Skills Relationship in the 21st Century Science Education*. Makalah Seminar International Pendidikan IPA. Bandung, 27 Oktober 2007.
- [5] Sugiyono. (2006). Metode Penelitian Pnedidikan; Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R & D. Bandung : Alfabeta.
- [6] Sunarno, W. (1998). Model Remediasi Miskonsepsi Dinamika Menggunakan Animasi Simulasi Dengan Komputer. Disertasi Doktor (tidak dipublikasikan). Bandung: Program Pascasarjana IKIP Bandung.
- [7] Trianto. (2007). Model-model Pembelajaran Inovatif Berorientasi Konstruktivistik. Jakarta: Prestasi Pustaka.

INDEKS

Akhiruddin Maddu, 67 (*H15-NB04*)

Alexander Kondo, 165 (*H15-NC12*)

Alimuddin Hamzah Assegaf, 81(*H15-NB14*), 45 (*H15-NA12*), 96 (*H15-NB14*),
147 (*H15-NC09*), 180 (*H15-NC14*), 203 (*H15-ND05*)

Amiruddin, 18 (*H15-NA05*), 133 (*H15-NC06*)

Andi Nurul Aeni Daud, 212 (*H15-ND07*)

Anugrawati, 96 (*H15-NB14*)

Arifin, 76 (*H15-NB06*), 85 (*H15-NB09*), 91 (*H15-NB11*)

Aswar Syafnur, 138 (*H15-NC07*)

Aswin, 41(*H15-NA10*)

Bansawang BJ, 25 (*H15-NA07*), 35 (*NH15-NA09*)

Bannu Abdulsamad, 224 (*H15-ND09*)

Bidayatul Armynah, 215 (*H15-ND08*)

Bualkar Abdullah, 82 (*H15-NB08*), 172 (*H15-NC13*),

Darmawati Darwis, 55 (*H15-NB01*)

D.A. Suriamihardja, 18 (*H15-NA05*), 116 (*H15-NC03*), 151 (*H15-NC10*),
159 (*H15-NC11*), 165 (*H15-NC12*), 224 (*H15-ND09*)

Dedy Farhamsah, 184 (*H15-ND01*)

Efta Yudiarsah, 1 (*H15-NA01*)

Eko Juarlin, 31 (*H15-NA07*), 53 (*H15-NA14*), 232 (*H15-ND12*), 235 (*H15-ND13*)

Elisa Sesa, 184 (*H15-ND01*)

Erwin Azizi Jayadipraja, 45 (*H15-NA12*)

Fitrah, 76 (*H15-NB12*)

Gali Kurniawan, 55 (*H15-NB01*)

Haerany Sirajuddin, 151 (*H15-NC10*)

Harjumi, 130 (*H15-NC05*)

Hasliah Elastuti, 203 (*H15-ND05*)

Hazairin Zubair, 116 (*H15-NC03*)

Herman, 60 (*H15-NB02*)

Hernawati, 194 (*H15-ND03*)

Heryanto, 172 (*H15-NC13*)

Idawati Supu, 67 (*H15-NB04*)

Idwin Indra Bawana Tang, 215 (*H15-ND08*)

Irene Devi Damayanti, 53 (*H15-NA14*)

Irnah Saluddin, 104 (*H15-NC01*)

Iyok Titok Sugiarto, 7 (*H15-NA02*)

Kinanti Aldilla Rahmi, 1 (*H15-NA01*)

Lantu, 111 (*H15-NC02*), 172 (*H15-NC13*),

Makharani, 125 (*H15-NC04*), 130 (*H15-NC05*), 199 (*H15-ND04*)

Maria, 147 (*H15-NC09*)

Muh. Altin Massinai, 99 (*H15-NC07*)

Muh. Fachrul Latief, 35 (*NH15-NA09*)

Muh. Said L., 194 (*H15-ND03*)

Muhammad Altin Massinai, 138 (*H15-NC07*), 147 (*H15-NC09*), 212 (*H15-ND07*)

Muhammad Hamzah Syahrudin, 133 (*H15-NC06*)

Muh. Taufik Dwi Putra, 142 (*H15-NC08*)

Mursalin, 238 (*H15-ND14*)

Musfitasari, 232 (*H15-ND12*), 235 (*H15-ND13*)

Nur Aeni, 232 (*H15-ND12*), 235(*H15-ND13*)

Nurfina Yudasari, 7 (*H15-NA02*)

Nur Hasanah, 224 (*H15-ND09*)

Nurlaela Rauf, 73 (*H15-NB05*)

Nur Najmiah Tullailah, 111 (*H15-NC02*)

Nursidik Yulianto, 7 (*H15-NA02*)

N.R.Palilu, 151 (*H15-NC10*)

Paharuddin, 96 (*H15-NB14*), 203(*H15-ND05*)

P.L. Gareso, 232 (*H15-ND12*), 235 (*H15-ND13*)

Randy Lasman, 184 (*H15-ND01*)

Reski Ayu Magfira, 147 (*H15-NC09*)

Rosdia, 91 (*H15-NB11*)

Rosyida Fatihah, 159 (*H15-NC11*)

Sabrianto Aswad, 111 (*H15-NC02*), 129 (*H15-NC04*), 130 (*H15-NC05*),
133 (*H15-NC06*), 142 (*H15-NC08*)

Sakka, 151 (*H15-NC10*), 159 (*H15-NC11*), 165 (*H15-NC12*)

Samsu Arif, 116 (*H15-NC03*)

Sinarwati, 73 (*H15-NB05*)

Sri Wahyuna, 194 (*H15-ND03*)

Sri Suryani, 228 (*H15-ND11*)

Suendy Ciayadi Kwang, 189 (*H15-ND02*)

Sumbangan Baja, 116 (*H15-NC03*)

Suprpto Bambang Harimei, 104 (*H15-NC01*)

Syahir Mahmud, 189 (*H15-ND02*), 215 (*H15-ND08*)

Syahrul Ulum, 55 (*H15-NB01*)

Syamsuddin, 133 (*H15-NC06*), 138 (*H15-NC07*), 142 (*H15-NC08*),
199 (*H15-ND04*), 212 (*H15-ND07*)

Randy Lasman,

Reski Ayu Magfira, 147 (*H15-NC09*)

Rosdia, 91 (*H15-NB11*)

Tasrief Surungan, 41 (*H15-NA10*)

Vandan Wiliyanti, 11 (*H15-NA03*)

Wahid Wahab, 172 (*H15-NC13*),

Wildan Panji Tresna, 7 (*H15-NA02*)

Wira Bahari Nurdin, 35 (*NH15-NA09*), 49 (*H15-NA13*)

Wasir Samad, 180 (*H15-NC14*)

Yulia Afriani, 199 (*H15-ND04*)

Yusran, 85 (*H15-NB09*)

